



**Bruna Filipa Ferreira
Pires**

**Gestão da Qualidade do ar em Ambientes
Portuários**



**Bruna Filipa Ferreira
Pires**

**Gestão da Qualidade do Ar em Ambientes
Portuários**

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutora Alexandra Monteiro, Investigadora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, e sob a coorientação científica do Doutor Miguel Coutinho, Secretário-geral do Instituto do Ambiente e Desenvolvimento (IDAD).

Este trabalho é financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade (COMPETE2020) e por Fundos Nacionais através da FCT do PTDC no âmbito do projeto AIRSHIP (PTDC/AAG-MAA/2569/2014 - POCI-01-0145-FEDER-016752).

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

Dedico este trabalho aos meus pais e irmã pelo incansável apoio.

o júri

presidente

Prof. ^a Doutora Maria Helena Gomes de Almeida Gonçalves Nadais
Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Doutora Maria Alexandra Castelo Sobral Monteiro
Investigadora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Doutora Joana da Fonseca Valente
Doutorada em Ciência do Ambiente, Consultora na área ambiental

agradecimentos

Agradeço à minha orientadora, Doutora Alexandra Monteiro e coorientador Doutor Miguel Coutinho pela disponibilidade, apoio, incentivo, aconselhamento e transmissão de conhecimento.

Agradeço ao IDAD pela oportunidade de estágio permitindo-me o contacto com o mundo empresarial e pelo desenvolvimento e aquisição de competências na área do Ambiente.

Agradeço a toda a equipa do IDAD pela integração e apoio prestado ao longo da realização do estágio.

Agradeço à minha Família, especialmente aos meus pais e irmã, por toda a paciência, apoio, aconselhamento e por toda a calma transmitida ao longo desta etapa e durante todo o meu percurso académico.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste relatório de estágio e em especial para a minha amiga Ana Rita Oliveira pela calma transmitida e pelo companheirismo durante este período.

palavras-chave

Qualidade do ar, Ambiente Sonoro, Ambientes Portuários, Impacto, Poluentes Atmosféricos.

resumo

Diversos estudos demonstram que o transporte marítimo e o manuseamento de mercadorias afetam a qualidade do ar à escala local e regional e consequentemente a saúde dos trabalhadores e da população residente na envolvente dos Portos.

A qualidade do ar em ambientes portuários é uma das principais prioridades ao nível da gestão ambiental, da União Europeia, e, por conseguinte, das autoridades portuárias, devido ao aumento significativo do transporte de mercadorias por via marítima.

Neste âmbito, o presente relatório de estágio, realizado no Instituto de Ambiente e Desenvolvimento teve como objetivo o estudo do impacto da atividade portuária, nomeadamente o manuseamento de mercadorias, no ambiente sonoro e na qualidade do ar à escala local.

Para tal, foram analisados dados monitorizados de poluentes atmosféricos, das variáveis meteorológicas e de ruído em dois casos de estudo: Porto de Leixões e Porto de Aveiro.

Este estudo permitiu concluir que no Porto de Leixões, a concentração média diária de PM₁₀ é cerca de 7 µg/m³ superior quando ocorre manuseamento de mercadorias a quando não ocorre esta movimentação, esta diferença não apresenta significado estatístico. Ainda foi possível concluir que cerca de 70% dos episódios de excedências do nível sonoro equivalente ocorreram em períodos sem movimentação de contentores, evidenciando a existência de uma fonte sonora exterior ao Porto de Leixões. Relativamente ao Porto de Aveiro verificou-se que a combustão residencial e o tráfego rodoviário são possivelmente as principais fontes de poluentes atmosféricos.

keywords

Air quality, Port Areas, Impact, Air Pollutants, Ambient Noise

abstract

Several studies show that maritime transport and the handling of goods affect air quality on both local and regional scales, and consequently, the health of workers and resident population near Port areas.

Air quality in ports is one of the top priorities of the European Union, and therefore, of port authorities, due to the significant increase seaborne trade. In this context, this development report carried out at the Institute of Environment and Development, aimed to study the impact of port activity, related to the handling of goods, on ambient noise and air quality, at local levels.

For this, monitored data of atmospheric pollutants, meteorological and noise variables, were analysed in two case studies: Port of Leixões and Port of Aveiro.

The conclusion of the study is that, for the Port of Leixões, the average daily concentration of PM₁₀ is around 7 µg/m³ higher when handling of goods occurs, and when this movement does not occur, the difference does not present statistical significance. And it was possible to conclude that about 70% of the episodes of exceedances of the equivalent sound level occurred in periods without container movement, evidencing the existence of noise source outside the Port of Leixões. Regarding the Port of Aveiro, the analysis of the monitoring data suggests that residential combustion and road traffic are possibly the main sources of air pollutants.

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. ENQUADRAMENTO DO ESTÁGIO..... | 3 |
| 2.1. IDAD..... | 3 |
| 2.2. TRABALHO REALIZADO | 5 |
| 3. GESTÃO DA QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES PORTUÁRIOS | 7 |
| 3.1. EMISSÕES DA ATIVIDADE PORTUÁRIA | 7 |
| 3.2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO | 11 |
| 3.3. QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES PORTUÁRIOS | 13 |
| 4. PORTO DE LEIXÕES | 19 |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO DO PORTO DE LEIXÕES..... | 19 |
| 4.2. PROJETO DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR..... | 22 |
| 4.3. TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS | 32 |
| 4.4. GESTÃO DE RUÍDO NA APDL | 50 |
| 4.4.1. Tratamento e análise de dados | 52 |
| 5. PORTO DE AVEIRO | 55 |
| 5.1. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO | 55 |
| 5.2. PROJETO DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR | 57 |
| 5.3. TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS | 61 |
| 5.3.1. Análise das concentrações de poluentes medidas | 62 |
| 5.3.2. Análise da contribuição portuária na qualidade do ar medida | 76 |
| 6. CONCLUSÃO | 78 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 81 |
| ANEXOS | A |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Pilares de atuação do IDAD..... | 3 |
| Figura 2 – Localização geográfica dos casos de estudo: Porto de Aveiro e de Leixões..... | 5 |
| Figura 3 - Comparação das tendências de emissão de NO _x , SO ₂ e PM _{2,5} estimadas para 2010 e previstas na Europa para 2020, para as fontes de emissão terrestre dos 27 países da UE e emissões provenientes do transporte marítimo (EEA, 2013b). | 9 |
| Figura 4 - Comparação da contribuição da emissão de NO _x , SO ₂ e PM ₁₀ , entre as fontes de emissão total e fontes de emissão do transporte marítimo, para a Europa e Portugal (Russo <i>et al.</i> , 2018). | 10 |
| Figura 5 – Exemplo de medidas de gestão de qualidade o ar aplicáveis em ambientes portuários. [Adaptado de (ESPO, 2012)]..... | 14 |
| Figura 6 – Contribuição do transporte marítimo nos níveis de concentração de PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM ₁ , NO ₂ e SO ₂ no ar ambiente (Viana <i>et al.</i> , 2014)..... | 16 |
| Figura 7 – Instalações do Porto de Leixões e localização das estações de monitorização da qualidade do ar (Fixa e Móvel)..... | 20 |
| Figura 8 – Evolução da movimentação de mercadoria e do número de navios para o período 2000-2017. | 21 |
| Figura 9 – Temperatura média e precipitação acumulada da Área Metropolitana do Porto, referente ao período 1971-2000 (IPMA, 2015). | 22 |
| Figura 10 – Fontes de emissão associadas à movimentação de sucata no Porto de Leixões (Borrego <i>et al.</i> , 2007). | 23 |
| Figura 11 – Distribuição temporal das médias diárias registadas no mês de agosto de 2017 para PM ₁₀ , na APDL..... | 25 |
| Figura 12 - Distribuição temporal das médias diárias para PTS para o mês de agosto de 2017, nas estações da APDL..... | 26 |
| Figura 13 - Quantidade de mercadoria movimentada na Doca 2 Norte, durante o mês de agosto de 2017..... | 27 |

| | |
|---|----|
| Figura 14 - Movimento de veículos no Porto de Leixões, durante o mês de agosto de 2017. | 28 |
| Figura 15 - Concentração média diária de PM10, na Estação Móvel da APDL e estações fixas da CCDR Norte. | 28 |
| Figura 16 - Índices de qualidade do ar para cada dia com concentração média diária de PM10 na Estação Móvel da APDL e estações fixas da CCDRN. | 29 |
| Figura 17 – Localização das estações de monitorização da qualidade do ar da APDL (Fixa/Móvel) e da Comissão de C ordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR Norte). | 30 |
| Figura 18 – Concentrações médias diárias de PM10 monitorizadas na APDL. | 33 |
| Figura 19 – Previsão do transporte de partículas com origem nos desertos de África para o dia 4 de janeiro de 2017 (APA, 2017). | 34 |
| Figura 20 – Quantidade e tipo de mercadoria movimentada em 2016 e 2017 no Porto de Leixões | 38 |
| Figura 21 – Concentração de PM10 (mediana e percentis) observadas para os diferentes períodos de movimentação de mercadorias, para os anos 2016 e 2017. | 39 |
| Figura 22 - Concentrações médias diárias de PM10 registadas nas estações de monitorização da qualidade do ar da APDL e da rede de qualidade do ar da CCDR Norte , no ano de 2016. | 41 |
| Figura 23 – Períodos em que se registaram excedências ao valor limite nas Estações da CCDR Norte, no ano de 2016..... | 42 |
| Figura 24 – Concentrações médias diárias de PM10 registadas nas estações de monitorização da qualidade do ar da APDL e da rede da qualidade do ar da CCDR Norte , no ano de 2017. | 43 |
| Figura 25 – Concentrações médias diárias registadas no ano de 2017, nas estações da envolvente da APDL e na Estação da APDL. | 45 |
| Figura 26 - Distribuição mensal do diferencial entre as médias diárias de PM10 na Estação Móvel e as estações da CCDR Norte, para o ano de 2016..... | 46 |
| Figura 27 - Distribuição mensal do diferencial entre as médias diárias de PM10 na Estação Móvel e as estações da CCDR Norte, para o ano de 2017..... | 46 |
| Figura 28 - Tipo e quantidade de mercadoria movimentada em 2016 na APDL. | 47 |
| Figura 29 – Tipo e quantidade de mercadoria movimentada em 2017 na APDL. | 47 |

| | |
|--|----|
| Figura 30 – Rosa de ventos da estação móvel para o período em análise. | 48 |
| Figura 31 - Localização dos locais de monitorização do ruído no interior do Porto de Leixões e na sua envolvente (IDAD, 2014). | 51 |
| Figura 32 - Valores horários do nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , monitorizados no período de 1 de agosto de 2017 a 31 de dezembro de 2017. | 52 |
| Figura 33 – Perfil semanal nos pontos de monitorização, nas Docas D2N e D2S e no Terminal TCN. | 53 |
| Figura 34 – Enquadramento geoespacial do Porto de Aveiro. | 55 |
| Figura 35 – Instalações do Porto de Aveiro. | 56 |
| Figura 36 - Temperatura média e precipitação média da Região de Aveiro, referente ao período 1971-2000 (IPMA, 2015). | 56 |
| Figura 37 - Localização da estação de monitorização da qualidade do ar do Porto de Aveiro. | 59 |
| Figura 38 – Localização de microescala do local de monitorização da qualidade do ar do Porto de Aveiro (IDAD, 2015). | 59 |
| Figura 39 – Localização das estações de monitorização da qualidade do ar pertencentes à Aglomeração Aveiro/Ílhavo. | 61 |
| Figura 40 – Concentrações médias diárias de PM ₁₀ monitorizadas no Porto de Aveiro, para o período estudado (junho 2016 – dezembro 2017) | 62 |
| Figura 41 – Perfil médio diário das concentrações de PM ₁₀ para os meses em estudo do ano de 2016..... | 64 |
| Figura 42 – Perfil médio diário das concentrações de PM ₁₀ para cada mês do ano de 2017. | 65 |
| Figura 43 - Distribuição temporal do movimento de granéis e concentração de PM ₁₀ durante a campanha de monitorização. | 66 |
| Figura 44 - Perfil médio diário das concentrações de PM ₁₀ , no período em estudo (junho 2016 a dezembro de 2017). | 67 |
| Figura 45 - Concentrações médias diárias das PM _{2.5} monitorizadas no Porto de Aveiro..... | 68 |
| Figura 46 - Perfil médio diário das concentrações de PM _{2.5} para os meses em estudo do ano de 2016..... | 68 |

| | |
|--|----|
| Figura 47 - Perfil médio diário das concentrações de PM _{2.5} para cada mês do ano de 2017. | 69 |
| Figura 48 – Concentrações médias horárias e octo-horárias de CO monitorizadas no Porto de Aveiro. | 69 |
| Figura 49 - Concentrações médias horárias de NO e NO ₂ monitorizadas no Porto de Aveiro..... | 70 |
| Figura 50 - Perfil médio diário das concentrações horária de NO para cada mês, em estudo, do ano de 2016..... | 71 |
| Figura 51 - Perfil médio diário das concentrações horária de NO para cada mês do ano de 2017. | 71 |
| Figura 52 - Concentrações médias horárias e diária de SO ₂ monitorizadas no Porto de Aveiro. .. | 72 |
| Figura 53 - Concentrações médias horárias de O ₃ monitorizadas no Porto de Aveiro. | 73 |
| Figura 54 - Concentrações octo-horárias de O ₃ monitorizadas no Porto de Aveiro. | 73 |
| Figura 55 - Perfil médio diário das concentrações horária de O ₃ para cada mês, em estudo, do ano de 2016..... | 74 |
| Figura 56 - Perfil médio diário das concentrações horária de O ₃ para cada mês do ano de 2017. | 74 |
| Figura 57 - Concentrações médias horárias de C ₆ H ₆ monitorizadas no Porto de Aveiro..... | 75 |

Índice de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Resumo dos valores limite legislados no Decreto de Lei nº 102/2010 para as concentrações dos poluentes do ar ambiente. | 12 |
| Tabela 2 – Medidas de minimização dos incómodos implementadas pelo Porto de Leixões. | 24 |
| Tabela 3 – Caracterização das estações de monitorização da qualidade do ar pertencentes à Qualar. | 30 |
| Tabela 4 – Eficiência de aquisição de dados referente aos anos 2016 e 2017 para a Estação Móvel da APDL. | 32 |
| Tabela 5 – Períodos com ultrapassagem do valor limite diário na Estação Móvel da APDL, no ano de 2016. | 35 |
| Tabela 6 - Períodos com ultrapassagem do valor limite diário na Estação Móvel da APDL, no ano de 2017. | 36 |
| Tabela 7 – Resultado do teste U de Mann-Whitney. | 40 |
| Tabela 8 – Eficiência, concentração média anual de PM10 e número de excedências para o ano de 2016. | 41 |
| Tabela 9 - Eficiência, concentração média anual de PM10 e número de excedências para o ano de 2017. | 44 |
| Tabela 10 – Limiares de alerta definidos (IDAD, 2014). | 51 |
| Tabela 11 – Eficiência de aquisição referente ao período junho de 2016 a dezembro de 2017 para a Estação do Porto de Aveiro. | 61 |
| Tabela 12 – Períodos com ultrapassagem do valor limite diário de PM10 na estação do Porto de Aveiro durante junho 2016 a dezembro de 2017. | 63 |
| Tabela 13 – Concentração média e percentil 90,4 para o ano de 2016 e 2017. | 64 |
| Tabela 14 – Concentração média de PM10 em função da direção do vento. | 67 |
| Tabela 15 – Correlação entre os diferentes poluentes e as variáveis meteorológicas, para o período em estudo (junho de 2016 a dezembro de 2017). | 76 |

1. Introdução

Desde os finais do século XX, a qualidade do ar na Europa tem melhorado devido à redução de emissões de poluentes atmosféricos, resultante da implementação de políticas com objetivos mais ambiciosos e dos avanços tecnológicos (Guerreiro *et al.*, 2014; Monteiro *et al.*, 2015), também existem fatores externos, como uma crise económica que contribuem para a redução do consumo de energia e consequente melhoria da qualidade do ar (Monteiro *et al.*, 2018).

No entanto, com a população a deslocar-se cada vez mais para as cidades, a exposição à poluição atmosférica é cada vez maior. Atualmente, ainda se verificam problemas de poluição, particularmente ao nível dos poluentes: PM₁₀ e PM_{2.5} (partículas com diâmetro aerodinâmico médio inferior a 10 e a 2.5 micrómetro, respetivamente), O₃, (ozono) e NO₂ (dióxido de azoto), com repercussões na saúde humana e nos ecossistemas (APA, 2015). A queima de combustíveis fósseis e de biomassa residencial, as centrais elétricas e atividade industrial e agrícola são atualmente identificadas como principais atividades emissoras de NO₂, PM₁₀ e PAHs (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) (Guerreiro *et al.*, 2014).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (2016) a poluição atmosférica é o maior risco ambiental para a saúde humana contribuindo para o desenvolvimento de doenças como acidentes vasculares cerebrais, cancro do pulmão e doenças cardíacas e do foro respiratório (agudas e crónicas), como a asma. Estima-se que a exposição prolongada a concentrações de PM_{2.5}, NO₂ e O₃ foram responsáveis, em 2014 por cerca de 399 000, 75 000 e 13 600 mortes prematuras, respetivamente nos países da União Europeia (EEA, 2017).

Conhecer as fontes, como se processa o transporte de poluentes, a sua transformação na atmosfera e os efeitos na saúde pública, nos ecossistemas, no clima e os impactos diretos e indiretos na sociedade e na economia é crucial para desenvolver uma visão holística da gestão do recurso ar (EEA, 2017).

Uma das atividades que contribuem para a emissão de poluentes e consequente degradação da qualidade do ar, à escala local e regional, é a atividade portuária. Associado ao aumento do comércio internacional e à globalização da economia, os Portos desempenham um papel crucial como nós das redes logísticas e do transporte internacional de mercadorias (AdC, 2015). Atualmente, o transporte marítimo é responsável por cerca de 80% do volume de carga movimentadas e 70% do seu valor económico, nas últimas 4 décadas (1974-2014) verificou-se um aumento médio anual de 3% (UNCTAD, 2017). De acordo com as projeções da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento, UNCTAD é expectável, que entre 2017 e 2022, se verifique uma taxa de crescimento anual composta de 3,2% do volume de carga total.

Mas por outro lado, este sector apresenta inúmeros impactes significativos nos restantes compartimentos ambientais, solo e água, (Dinwoodie *et al.*, 2012; Puig *et al.*, 2015) e na saúde dos trabalhadores e da população envolvente (Mueller *et al.*, 2011). Os impactes resultam particularmente do manuseamento e transporte de mercadorias, do movimento de navios e a utilização de motores auxiliares, quando atracados (OECD, 2011). A qualidade do ar e o ruído são identificados como os aspetos ambientais com maior potencial de incomodidade nas populações envolventes, representando os maiores desafios das autoridades portuárias (ESPO, 2017; Mustonen, 2013).

A complexidade aliada ao recente crescimento das atividades portuárias torna ainda mais imprescindível o estudo do impacto deste setor de atividade no ambiente sonoro e no ar ambiente. A definição de indicadores e de planos de monitorização são cruciais como suporte nas tomadas de decisão, nomeadamente na adoção de medidas de mitigação, por parte das autoridades portuárias e/ou na definição de políticas.

Neste âmbito, o principal objetivo do presente estágio enquadra-se na avaliação da contribuição das atividades portuárias, especificamente o manuseamento de mercadoria, na qualidade do ar e no ambiente sonoro. Esta avaliação foi realizada tendo por base os dados de qualidade do ar e de ruído monitorizados em dois casos de estudo: Porto de Leixões e Porto de Aveiro. Este estudo realizou-se no Instituto de Ambiente e Desenvolvimento, IDAD, entidade de acolhimento do presente estágio que teve duração de 9 meses, e que será apresentada no capítulo seguinte com maior detalhe, juntamente com o trabalho desenvolvido ao longo deste período.

O presente relatório de Estágio está subdividido em 5 capítulos. No capítulo 1, “**Introdução**”, é realizado um enquadramento geral da evolução da qualidade do ar na Europa, da importância da gestão da qualidade do ar e do ambiente sonoro, nomeadamente em áreas portuárias.

Posteriormente, no capítulo 2, “**Enquadramento do Estágio**”, apresenta-se a entidade acolhedora do estágio, o IDAD, o objetivo do estágio e o trabalho realizado.

No capítulo 3, “**Gestão da qualidade do ar em ambientes portuários**”, são identificadas as emissões decorrentes da atividade portuária, o enquadramento legislativo e o estado de arte relativo à gestão da qualidade do ar em portos marítimos.

No capítulo 4 e 5, “**Caso de estudo: Porto de Leixões**” e “**Caso de estudo: Porto de Aveiro**”, é realizada a caracterização dos Portos, apresentação dos planos de monitorização da qualidade do ar e do ambiente sonoro (apenas no Porto de Leixões) e é realizada uma avaliação da contribuição das atividades portuárias na qualidade do ar.

2. Enquadramento do Estágio

No presente capítulo é apresentada a entidade de acolhimento, o IDAD, assim como o trabalho desenvolvido ao longo do período de estágio, no âmbito do tema de estágio e nos diversos projetos da organização.

2.1. IDAD

O presente trabalho em contexto de estágio, foi realizado no IDAD, fundada em 1993 com o intuito de colmatar a falha de mercado na área da consultoria ambiental, sob a forma de associação científica e técnica, sem fins lucrativos e de utilidade pública, com uma vasta experiência na poluição atmosférica, avaliação de impactes e monitorização ambiental e sustentabilidade, com a capacidade de responder às necessidades ambientais das organizações quer nacionais como internacionais (IDAD, 2013).

Devido às preocupações crescentes em matéria de ambiente nos anos 90, o governo português decidiu apoiar organizações capazes de monitorizar o estado do ambiente, e identificar os impactes das atividades no ambiente. Deste modo, o IDAD, ao longo das últimas décadas, tem desenvolvido técnicas de amostragem e análise em colaboração com a equipa de investigação do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro. Além disso, também coopera com o Centro de Estudo de Ambiente e Mar, CESAM, neste âmbito devido a sua equipa multidisciplinar e as suas parcerias contribui para o desenvolvimento de conhecimento científico, principalmente nos três pilares de atuação (Figura 1).



Figura 1 – Pilares de atuação do IDAD.

Deste modo, permite que as organizações cumpram com os requisitos legislativos e regulamentares na área do ambiente, melhorem o seu desempenho, nomeadamente através da redução do uso de recursos e de custos operacionais, e integrem na sua gestão dados ambientes relevantes, através da aplicação dos instrumentos e ferramentas que o IDAD dispõe.

Na área da avaliação de impactes, esta organização é reconhecida ao nível nacional e internacional, tendo realizado os seus primeiros estudos na definição da localização das unidades de incineração de resíduos em Portugal (em 1994 da central de incineração da ValorSul e em 1997 no desenvolvimento de programas de monitorização da central de incineração da LIPOR e da ValorSul). Posteriormente em 2003 realizou a Avaliação Ambiental Estratégica da Rede Ferroviária de Alta Velocidade, um dos primeiros estudos em Portugal, anterior à transposição da Diretiva Europeia. A nível internacional em colaboração com o Banco Interamericano de Desenvolvimento desenvolveu os termos de referência para a elaboração de futuros estudos de Avaliação de Impacte Ambiental na Guiana.

Além disso em 2004 organizou a 1ª Conferência Nacional de Avaliação de Impactes em parceria com a Associação Portuguesa de Avaliação de Impactes (APAI) e em 2012 realizou a 32ª Conferência Anual da *International Association for Impact Assessment* (IAIA). Devido ao IDAD ser uma organização proativa nesta área, dois colaboradores integraram 3 Direções da APAI e o Secretário Geral do IDAD é o Presidente Eleito da IAIA.

No pilar da Sustentabilidade o IDAD possui diversas ferramentas e instrumentos que garantem e apoiam a sustentabilidade das organizações nomeadamente através da elaboração pelo IDAD de relatórios de sustentabilidade, estudos de *Benchmarking*, agenda 21 local, processos participativos e políticas públicas. Neste âmbito destaca-se a elaboração de Planos Municipais de Adaptação as Alterações Climáticas e Plano de Ação da Agenda Global para o Ambiente na Região do Norte 2009-20013.

Relativamente à poluição atmosférica, o IDAD é uma organização altamente qualificada a nível de recursos humanos, metodologias e equipamentos para prevenir, monitorizar e minimizar/resolver problemas de poluição atmosférica. O IDAD possui a capacidade de:

- Caracterizar os efluentes gasosos através da medição das emissões gasosas em fontes fixas, nomeadamente chaminés e determinar a altura destas;
- Inventariar as emissões de poluentes atmosféricos;
- Realizar estudos de dispersão atmosférica com base na modelação numérica de simulação da dispersão de poluentes atmosféricos a nível local e regional;
- Monitorizar a qualidade do ar interior;
- Monitorizar a concentração de poluentes no ar ambiente devido ao facto de possuir um laboratório móvel equipado com analisadores de PM10, CO, SO₂, NO_x, NO, NO₂, O₃;
- Quantificar odores através da olfatometria dinâmica;
- Gerir a qualidade do ar.

O presente tema de estágio – “Gestão da qualidade do ar em ambientes portuários”, especificamente no Porto de Aveiro e no Porto de Leixões, enquadra-se nesta área de trabalho.

2.2. Trabalho realizado

Os casos de estudo analisados neste trabalho compreendem o Porto de Leixões e o Porto de Aveiro, localizados na costa atlântica do Norte e centro de Portugal, respetivamente, distanciados por cerca de 60 km (Figura 2). Ambos os portos, nos últimos anos, têm recebidos reclamações ao nível da qualidade do ar, por parte da população da área envolvente, devido aos níveis de concentração no ar ambiente de partículas inaláveis e a acumulação de poeiras na envolvente das habitações resultantes das atividades portuárias.

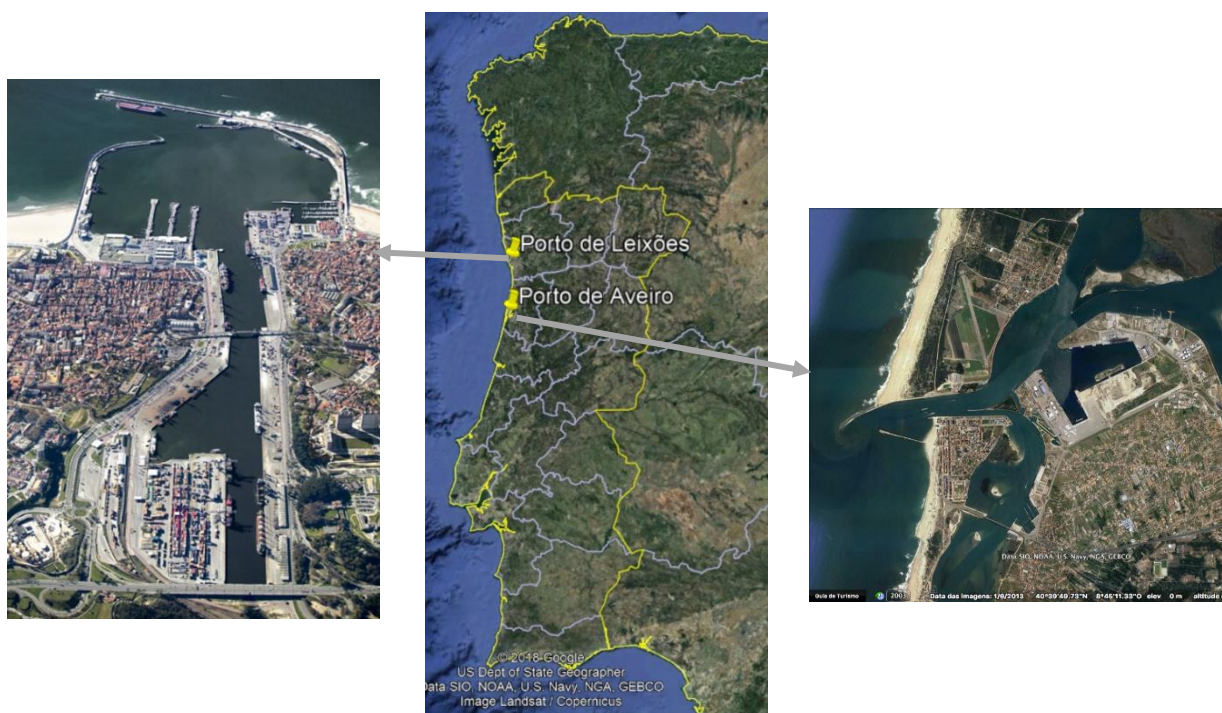


Figura 2 – Localização geográfica dos casos de estudo: Porto de Aveiro e de Leixões

Face a esta preocupação por parte dos residentes na envolvente e a crescente necessidade de integrar na gestão portuária as questões ambientais, a APA - Administração do Porto de Aveiro, SA e a APDL - Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. solicitaram ao IDAD, para efetuar o acompanhamento, controlo de qualidade e tratamento dos dados de monitorização da qualidade do ar e ruído (apenas da APDL).

Neste âmbito surge o presente estágio, devido à necessária da elaboração de relatórios mensais e do relatório anual. Nos relatórios de qualidade do ar é realizado o enquadramento territorial da área portuária, identificação de eventos naturais, apresentação dos parâmetros meteorológicos e das concentrações monitorizadas para os diferentes poluentes, e ainda é realizada uma análise comparativa com os dados da rede nacional de qualidade do ar e a sua relação com atividade portuária, nomeadamente com a mercadoria movimentada e com os veículos que circulam na área portuária.

No relatório mensal de ruído é apresentada a localização dos pontos de monitorização do ruído, assim como são identificadas as principais fontes para cada local. Para além disso são apresentados os níveis sonoros relativos aos valores horários de L_{Aeq} e é realizada uma análise comparativa entre o nível de ruído monitorizado e a movimentação de mercadoria a granel, na Doca 2 Norte, e de contentores, no Terminal de Contentores Norte.

Para além do trabalho desenvolvido no âmbito do tema de estágio, nomeadamente na elaboração dos relatórios de qualidade do ar e de ruído, também houve o envolvimento/apoio em diversos projetos nas distintas áreas de atuação do IDAD, nomeadamente:

- Na monitorização ambiental, em amostragens de efluentes líquidos, medição de ruído na envolvente de uma indústria do setor metalomecânica e em campanhas de monitorização da qualidade do ar (Programa de Monitorização Externa da Lipor II e na Monitorização da Qualidade do Ar na envolvente do Ecoparque do Relvão - Chamusca);
- Na área da poluição atmosférica através do apoio na realização do relatório de avaliação da qualidade do ar no concelho de Oliveira do Hospital.
- Na validação de equipamentos de medição de partículas no ar ambiente pelo método de gravimetria na estação de monitorização da qualidade do ar localizada na Escola Secundária José Estevão - Avenida 25 de Abril- Aveiro. Este trabalho consistiu na ida diária a Estação de Qualidade do ar para a recolha e substituição de filtro e programação do equipamento de medição de PM10.

3. Gestão da qualidade do ar em ambientes portuários

Tal como referido na Diretiva Quadro da Qualidade do Ar 2008/50/CE, o principal objetivo é a diminuição da poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana e no ambiente em geral, possibilitando que a qualidade do ar ambiente se mantenha, quando é boa, e que nos restantes casos sejam implementadas medidas que contribuam para a sua melhoria. A gestão da qualidade do ar, tal como definido na anterior Diretiva envolve a caracterização das emissões atmosféricas, a monitorização das concentrações de poluentes atmosféricos no ar ambiente e a análise das tendências a longo prazo. Nesta gestão é recomendável a utilização de diferentes instrumentos, nomeadamente, os inventários de emissões atmosféricas e a monitorização e modelação da qualidade do ar ambiente.

A atividade portuária surge como uma importante atividade económica com emissões de poluentes (EEA, 2013b). As emissões deste setor aumentaram na sequência do crescimento do volume de carga movimentada, resultante da globalização dos mercados. Deste modo, o impacto na qualidade do ar tem ganho especial atenção pela comunidade científica e pelas autoridades portuárias, particularmente em áreas com elevada densidade populacional (Borrego *et al.*, 2007; Russo *et al.*, 2018).

Neste capítulo pretende-se apresentar um enquadramento quer no que diz respeito à importância das emissões portuárias, à legislação atual de qualidade do ar e às atuais medidas de gestão implementadas. Este capítulo encontra-se, assim, dividido: 3.1 – “Emissões da Atividade Portuária” apresenta-se as principais fontes de poluentes atmosféricos em ambientes portuários; no 3.2 – “Enquadramento legislativo” é feito um resumo do quadro legislativo aplicável à gestão da qualidade do ar e por fim, 3.3. – “Gestão da qualidade do ar em ambientes portuários” é realizada uma revisão do estado de ar respeitante à gestão da qualidade do ar em ambientes portuários, apresentando os estudos relevantes e algumas estratégias e medidas aplicadas.

3.1. Emissões da atividade portuária

Apesar dos portos marítimos comerciais contribuírem para o desenvolvimento económico de uma área geográfica, a atividade portuária, nomeadamente, o transporte marítimo, a movimentação de mercadorias e o transporte terrestre, apresentam inúmeros impactos significativos no ambiente (Dinwoodie *et al.*, 2012; Puig *et al.*, 2015). De acordo com a OECD (2011) os impactos ambientais observados nos portos estão sobretudo associados à atividade portuária, ao movimento de navios, e à rede de transporte intermodal.

Dependendo das características logísticas, da localização dos portos e da dimensão e tipo de mercadoria movimentada, as fontes de emissão de poluentes atmosféricos podem ser diversas, tornando-se um desafio a identificação destas de uma forma precisa. Estas fontes resultam de atividades antropogénicas provenientes quer do transporte marítimo/terrestre de mercadorias, quer do manuseamento de graneis sólidos, ou resultantes do armazenamento em pilhas ao ar livre, de obras, dos próprios equipamentos (máquinas móveis não rodoviárias) utilizados para o manuseamento de mercadorias e dos veículos que circulam na área envolvente (OECD, 2011; Sorte *et al.*, 2018).

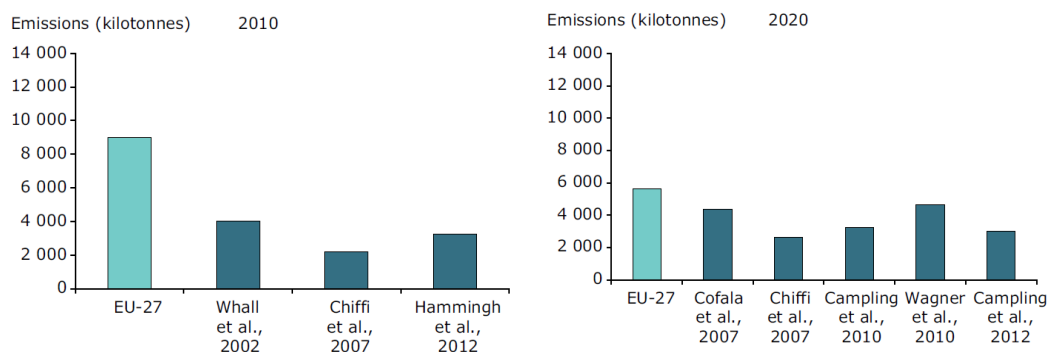
Em áreas portuárias, a emissão fugitiva de partículas/poeiras para a atmosfera pode ser também uma das principais fontes de emissão, podendo resultar da emissão a partir de fontes em volume (como por exemplo armazenamento de mercadorias em pilhas) ou em área (como por exemplo a ressuspensão de partículas acumuladas nas vias de circulação).

O transporte marítimo e os equipamentos com motores a diesel são responsáveis, principalmente, pela emissão de NO_x (óxidos de azoto), SO_x (óxidos de enxofre) e PM. A utilização de motores a diesel, em operações portuárias e nos navios, é a opção mais empregue devido à eficiência energética, confiabilidade, longevidade e potência dos motores a diesel (IMO, 2015). Durante a atracagem dos navios, os motores continuam em funcionamento a fim de garantir as atividades de carga e descarga, aquecimento, iluminação e outras atividades a bordo. Neste sentido são uma fonte de poluição, que a nível local apresenta impacto na qualidade do ar (Sciberras *et al.*, 2016). Para além disso, é de salientar o facto de nas operações de carga e descarga, os navios se encontrarem muito próximos dos recetores sensíveis, nomeadamente os trabalhadores e os residentes, causando exposição humana elevada à poluição do ar.

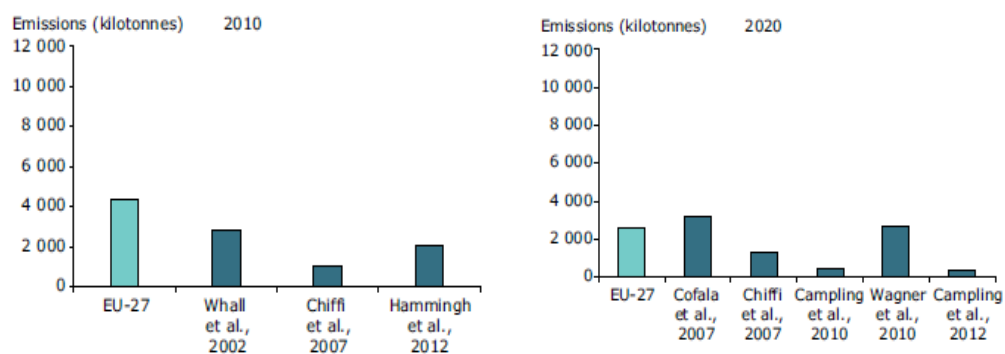
Uma vez que a regulamentação do transporte marítimo, particularmente no que diz respeito à combustão de combustíveis fósseis, ser uma das fontes de emissão antropogénicas menos regulamentadas (Russo *et al.*, 2018), e o facto de se registar um aumento da mercadoria transportada, prevê-se que contrariamente às emissões de origem antropogénica, as emissões decorrentes do transporte marítimo aumentem e igualem as emissões terrestres em 2020 (EEA, 2013b; Viana *et al.*, 2014).

De acordo com o relatório publicado pela Agência do Ambiente Europeia (EEA, 2013b) é expectável que para o NO_x e SO₂ as emissões terrestres da União Europeia (UE) de 2010 para 2020 tenham um decréscimo de aproximadamente 30% e 50%, respetivamente, enquanto que as emissões do transporte marítimo na Europa tendem a manter-se relativamente constantes (cerca de 6 mil quilotoneladas (NO_x) e 2 mil quilotoneladas (SO₂)) e igualar as emissões terrestres, de acordo com diferentes estudos/ autores (Figura 3). Relativamente às PM_{2.5}, verifica-se uma redução e um acréscimo de aproximadamente 200 quilotoneladas para as emissões terrestres e decorrentes do transporte marítimo, respetivamente, mantendo-se o diferencial entre as emissões terrestres e as emissões do transporte marítimo.

Emissões de NO_x



Emissões de SO₂



Emissões de PM_{2,5}

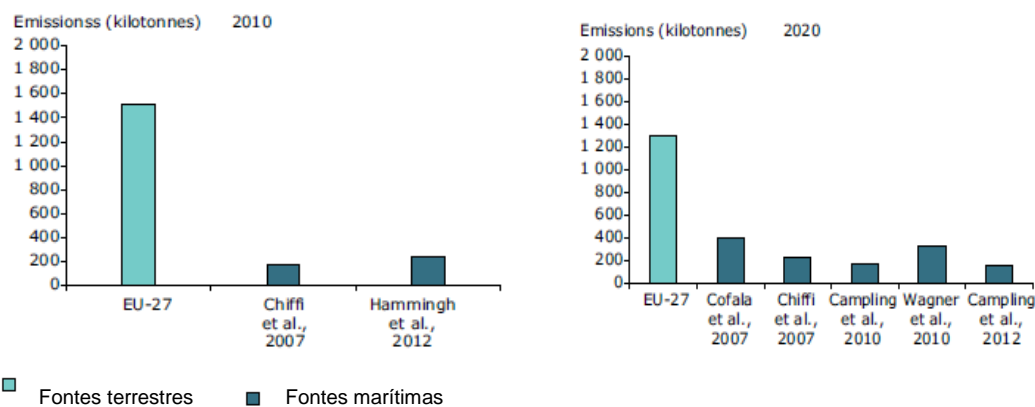


Figura 3 - Comparação das tendências de emissão de NO_x, SO₂ e PM_{2,5} estimadas para 2010 e previstas na Europa para 2020, para as fontes de emissão terrestre dos 27 países da UE e emissões provenientes do transporte marítimo (EEA, 2013b).

De modo a perceber a atual fração destas emissões no total europeu e também nacional, a Figura 4 apresenta a contribuição das emissões do transporte marítimo para a Europa e Portugal, relativamente ao total emitido pelas atividades antropogénicas.

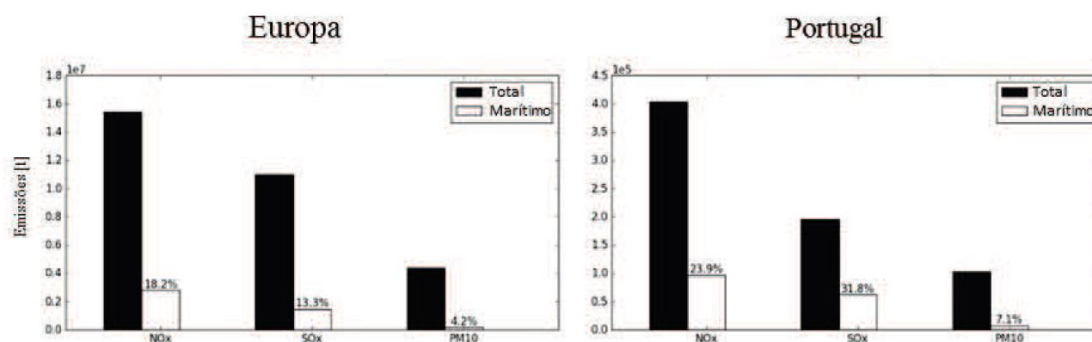


Figura 4 - Comparação da contribuição da emissão de NO_x, SO₂ e PM10, entre as fontes de emissão total e fontes de emissão do transporte marítimo, para a Europa e Portugal (Russo *et al.*, 2018).

Analisando a Figura 4, verifica-se que para Portugal Continental, a contribuição do transporte marítimo para o total das emissões é maior relativamente à Europa. Enquanto que na Europa as emissões marítimas de NO_x, SO_x e PM10 representam cerca de 18,2%, 13,3% e 4,2%, respetivamente, em Portugal representam 23,9%, 31,8% e 7,1% da emissão total de NO_x, SO₂ e de PM10, respetivamente.

A diferença entre a contribuição das emissões do transporte marítimo deve-se ao facto de Portugal, possuir umas das maiores Zonas Económica Exclusivas (ZEE) do Mundo e ser o país da União Europeia com maior linha de costa (DGRM, 2018; Russo *et al.*, 2018).

Para se melhorar a qualidade do ar é essencial aplicarem-se medidas de mitigação para redução destas emissões de motores diesel nos navios, que representam um dos maiores desafios e oportunidades, devido ao facto que as atividades marítimas contribuem com aproximadamente 16%, 11% e 5% das emissões totais de NO_x, SO_x e PM10, respetivamente (Russo *et al.*, 2018).

Por outro lado, as emissões do tráfego automóvel, residenciais e industriais influenciam a qualidade do ar das cidades portuárias e áreas costeiras (Mueller *et al.*, 2011). Ao nível do sector industrial destacam-se as refinarias e centrais de energia elétricas, devido ao facto que junto aos portos tendem a fixar-se zonas industriais fortemente vocacionadas para a produção de energia, cuja contribuição para as concentrações monitorizadas de PM, NO_x e SO₂ pode ser significativa (NABU, 2015).

3.2. Enquadramento legislativo

As emissões decorrentes da atividade portuária têm repercussão na qualidade do ar, e consequentemente na saúde dos trabalhadores e na população residente na envolvente das áreas portuárias (Mueller *et al.*, 2011). Neste sentido, desde 2013 que a qualidade do ar tem estado na primeira posição das prioridades ambientais das autoridades portuárias, encontrando-se em concordância com a agenda política da UE (ESPO, 2017). Garantir uma boa qualidade do ar é essencial para se atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para 2030 definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), nomeadamente o 3º objetivo - Saúde de Qualidade e o 11º objetivo - Cidades e Comunidades Sustentáveis.

A gestão da qualidade do ar requer a definição de uma política para o recurso natural Ar, onde são fixados objetivos a atingir e a estratégia a adotar para que a política seja aplicada. A Diretiva da 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de maio de 2008 estipula que a gestão da qualidade do ar ambiente deve apoiar-se em três ferramentas, nomeadamente: na identificação e na quantificação das fontes de emissão; na avaliação da qualidade do ar com base na análise das concentrações de poluentes monitorizadas nas estações de monitorização da qualidade do ar e na aplicação de técnicas de modelação da qualidade do ar. A monitorização contínua de poluentes atmosféricos é desta forma uma ferramenta fundamental para a gestão da qualidade do ar e encontra-se regulamentada pelo Decreto de Lei (DL) n.º 102/2010, uma vez que permite conhecer as concentrações locais dos diferentes poluentes.

Portugal, como estado-membro da UE, transpõe esta diretiva para o direito interno através do DL n.º 102/2010, de 23 de setembro, onde se estabelecem objetivos afim de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana, principalmente para a população mais vulnerável (idosos e crianças) e para o ambiente, tendo em conta as orientações dadas pela Organização Mundial de Saúde, OMS.

Com o intuito de proteger a saúde humana e o ambiente na sua generalidade foram fixados critérios de avaliação da qualidade do ar, nomeadamente técnicas e requisitos de medição e validação para a agregação de dados e critérios para o número e localização das estações de monitorização.

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) é a entidade responsável pela coordenação e implementação da estratégia nacional para melhoria da qualidade do ar ambiente, através da análise e discussão das metodologias e ações/medidas necessárias com as entidades envolvidas. O “Plano de Ação de Qualidade do Ar” nacional apresenta os seguintes objetivos (APA, 2018a):

- Melhoria dos processos de avaliação da qualidade do ar;
- Informação georreferenciada e armazenada com critérios de transparência;
- Disponibilização da informação em tempo quase real e reporting simplificado;
- Medidas de melhoria de qualidade do ar e indicadores de verificação.

Na Tabela 1 são apresentados os valores limite, alvo e os limiares de informação e de alerta legislados para os poluentes, nomeadamente: CO, PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, NO_x, C₆H₆ (benzeno), O₃ e SO₂.

Tabela 1 - Resumo dos valores limite legislados no Decreto de Lei nº 102/2010 para as concentrações dos poluentes do ar ambiente.

| Poluente | Designação | Período considerado | Valor Limite |
|-------------------------------|--|---|---|
| CO | Valor limite para proteção da saúde humana | Máximo das médias octo-horárias do dia | 10 mg.m ⁻³ |
| PM ₁₀ | Valor limite diário para proteção da saúde humana | 24 horas | 50 µg.m ⁻³ a não exceder mais de 35 vezes por ano civil |
| | Valor limite anual para proteção da saúde humana | Ano civil | 40 µg.m ⁻³ |
| PM _{2.5} | Valor limite anual para proteção da saúde humana | Ano civil | 25 µg.m ⁻³ |
| NO ₂ | Valor limite horário para proteção da saúde humana | 1 hora | 200 µg.m ⁻³ a não exceder mais de 18 vezes por ano civil |
| | Valor limite anual para proteção da saúde humana | Ano civil | 40 µg.m ⁻³ |
| | Limiar de alerta | 3 horas | 400 µg.m ⁻³ |
| C ₆ H ₆ | Valor limite anual para proteção da saúde humana | Ano civil | 5 µg.m ⁻³ |
| O ₃ | Limiar de informação | 1 hora | 180 µg.m ⁻³ |
| | Limiar de alerta | 1 hora | 240 µg.m ⁻³ |
| | Valor alvo para proteção da saúde humana | Máximo das médias octo-horárias do dia | 120 µg.m ⁻³ a não exceder mais de 25 dias por ano civil |
| | Valor alvo para proteção da vegetação | AOT40 calculado com base nos valores horários de junho a agosto | 18 000 µg.m ⁻³ .h |
| SO ₂ | Valor limite horário para proteção da saúde humana | 1 hora | 350 µg.m ⁻³ a não exceder mais de 24 vezes por ano civil |
| | Valor limite diário para proteção da saúde humana | 24 horas | 125 µg.m ⁻³ a não exceder mais de 3 vezes por ano civil |
| | Limiar de alerta | Base horária medido em 3 horas consecutivas | 500 µg.m ⁻³ |

Cada Estado-Membro é obrigado a cumprir os valores-limite, caso este ultrapasse o número de excedências admissível no presente DL, conduz à obrigatoriedade dos Estados-Membros em elaborar e implementar Planos de Qualidade do ar (PQA). Os PQA estabelecem medidas para a redução das emissões para as áreas (zonas ou aglomerações) com elevados níveis de poluição, tendo em consideração a contribuição das fontes de emissões para os níveis de concentração ambiente (Miranda *et al.*, 2015).

Na elaboração destes PQA deve ser avaliada a situação existente considerando as medidas que estão definidas no âmbito de outras estratégias e que podem influenciar a qualidade do ar, nomeadamente o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), a Prevenção e Controlo Integrados de Poluição (PCIP) e o Programa para os Tetos de Emissão Nacionais (PTEN). Caso se verifique que estas políticas e instrumentos não são suficientes para o cumprimento dos valores limite, na data estipulada, será necessário aplicar medidas adicionais de acordo com os poluentes e tipo de fontes em causa. Estas medidas e respetivas relações de custo-eficácia e custo-benefício são equacionadas nos planos de qualidade do ar (APA, 2018b). Em Portugal foram já desenvolvidos dois PQA para a melhoria da qualidade do ar, um na região do Norte e outro na região de Lisboa e Vale do Tejo. Nestes planos são avaliadas a contribuição das diferentes fontes de emissão de poluentes atmosféricos para a concentração de destes no ar ambiente, daí ser essencial o estudo do impacto da atividade portuária.

3.3. Qualidade do ar em ambientes portuários

Atualmente, o desempenho ambiental dos portos é crucial para dar resposta aos requisitos normativos de segurança e ambiente, e garantir a sustentabilidade económica (Puig *et al.*, 2015). Para além disso, a população residente na envolvente dos portos tem demonstrado a preocupação crescente relativamente aos impactos resultantes das atividades portuárias. É neste sentido que as autoridades portuárias têm de incorporado na sua gestão questões ambientais e sociais.

De acordo com a UNCTAD (2017), é crucial que as autoridades portuárias reformulem as políticas, planos em vigor e a cooperação entre portos e outras partes interessadas, como clientes, operados logísticos, para fazer face aos impactes ambientais. A adoção de tecnologias e soluções capazes de monitorizar o desempenho ambiental dos portos e melhorar tecnicamente os processos de manuseamento de carga (não só ao nível ambiental), traz custos acrescidos à atividade portuária, daí ser essencial o aumento do conhecimento científico e partilha deste.

Neste âmbito, ao nível Europeu, a Organização Europeia dos Portos Marítimos (ESPO) fundada em 1993, é a entidade que representa os interesses e opiniões dos portos marítimos junto das instituições europeias, promovendo a troca de informação entre os diferentes *stakeholders* e a adoção de medidas proativas para a proteção do ambiente. Neste sentido, tem publicado guias que demonstram as diferentes abordagens e opções que as autoridades portuárias tem implementado para fazer face os desafios

emergentes. Em 2012, publicou o “Green Guide” no qual introduz um quadro comum baseado na abordagem 5 Es (*Exemplifying, Enabling, Encouraging, Engaging e Enforcing*), aplicável à gestão da qualidade do ar, da energia e alterações climáticas, do ruído, de resíduos e da água. Esta metodologia permite categorizar as ações implementadas pelos diferentes portos, visto que as autoridades portuárias podem intervir a diferentes níveis:

- Ao nível das operações das próprias autoridades portuárias (exemplificando);
- Ao nível das operações dentro da área portuária (possibilitando);
- E ao nível da cadeia de transporte e logística (encorajando, envolvendo e impondo).

A Figura 5 exemplifica algumas medidas passíveis de se aplicadas pelas autoridades portuárias na gestão da qualidade do ar, tendo em consideração o quadro proposto em (ESPO, 2012).



Figura 5 – Exemplo de medidas de gestão de qualidade o ar aplicáveis em ambientes portuários.

[Adaptado de (ESPO, 2012)]

Ao longo dos últimos anos têm sido desenvolvidos vários estudos, acerca da contribuição do manuseamento de mercadorias, nomeadamente a carga, descarga e armazenamento de granéis sólidos para a emissão fugitiva de partículas (Alastuey *et al.*, 2007; Borrego *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2009; Silva, 2017; Sorte *et al.*, 2018). Nestes estudos, as condições meteorológicas, principalmente a direção e velocidade do vento, foram os fatores chave identificados para a dispersão de partículas e consequentes episódios de poluição atmosférica. Por outro lado, a dimensão das pilhas e as características dos equipamentos utilizados na movimentação das mercadorias foram também identificadas como variáveis determinantes na dispersão de poluentes.

Silva (2017) quantificou e caracterizou as emissões de partículas no terminal portuário de Setúbal com o recurso a um equipamento de monitorização em contínuo e um amostrador de recolha de partículas em filtros. O autor concluiu que a granulometria dos materiais afeta diretamente as concentrações registadas, e para qualquer tipo de material manuseado, este afeta a fração grosseira das PM; e que a composição química das PM reflete a composição do material manuseado, sendo que nos períodos com ausência de operações a composição química demonstra a influência de fontes locais de origem antropogénica e natural, como o sal marinho.

Há também já estudos que mostram que as emissões fugitivas de partículas podem ser controladas através do uso de medidas de mitigação, como por exemplo a construção de quebra-vento e/ou barreiras de contentores (Borrego *et al.*, 2007) conjuntamente com a aplicação das Melhores Tecnologias Disponíveis (MTD).

Existem outros estudos onde foi avaliado o impacto do transporte marítimo na qualidade do ar (Aulinger *et al.*, 2016; Matthias *et al.*, 2010) tendo quantificado os efeitos do transporte marítimo, no Mar do Norte, na qualidade do ar em zonas costeiras. Viana *et al.* (2014) realizaram uma revisão da literatura relativamente aos efeitos do tráfego marítimo na qualidade do ar nas áreas costeiras da Europa e verificaram que as emissões resultantes do transporte marítimo contribuem com 1% dos níveis de concentração no ar ambiente de PM₁₀, 1 a 20% relativamente à concentração de PM_{2,5}. A contribuição nas concentrações de NO₂ variam entre 7 e 24%, com os maiores valores registados nos Países Baixos e na Dinamarca (Figura 6).

Para além destes estudos mencionados, existem outros que quantificaram a emissão de poluentes atmosféricos, principalmente de SO₂ e NO_x, bem com a sua distribuição geográfica de acordo com as rotas marítimas (Corbett and Fischbeck, 1997; Jalkanen *et al.*, 2016; Johansson *et al.*, 2017). Conhecer o impacto do transporte marítimo na composição da atmosfera e no clima é um desafio para comunidade científica, tendo vindo a ser estudado por Eyring *et al.* (2010) e Sofiev *et al.* (2018).

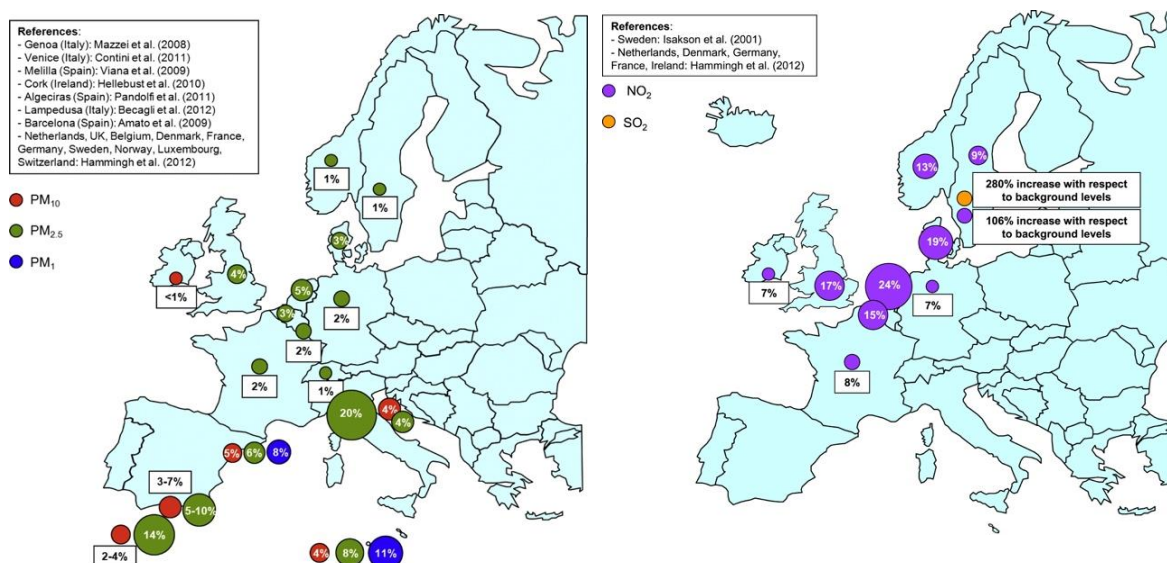


Figura 6 – Contribuição do transporte marítimo nos níveis de concentração de PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, NO₂ e SO₂ no ar ambiente (Viana *et al.*, 2014).

Em geral, os investigadores utilizam uma abordagem *bottom-up* para calcular as emissões marítimas, em que se baseiam na informação dos movimentos dos navios, das características do navio (como por exemplo o tipo de navio, motor, combustível, potência e velocidade máxima), nos fatores de emissão (com base na energia consumida g/kWh) (Matthias *et al.*, 2010) e/ou a compilação de um inventário de emissões com base em registos horários do Sistema de Identificação Automática (Aulinger *et al.*, 2016).

Estes inventários de emissão que incluem informação atualizada podem ser posteriormente utilizados na modelação da qualidade do ar que permite analisar cenários e realizar uma avaliação detalhada sobre a magnitude dos impactes das emissões do transporte marítimo no ar ambiente e na saúde humana (Russo *et al.*, 2018).

São já vários os portos, a nível europeu, que desenvolveram e implementaram planos e medidas de melhoria da qualidade do ar de carácter voluntário, como por exemplo o porto de Tallinn (Estónia), de Hamburgo (Alemanha), de Trelleborg (Suécia), de A Corunha (Espanha), de Helsínquia (Finlândia) (ESPO, 2013), Porto de Leixões e de Aveio (Portugal). De salientar que o porto de Tallinn implementou uma medida de exemplificação, visto que porto apresenta duas estações de monitorização da qualidade do ar, que monitorizam em tempo real as variáveis meteorológicas e as concentrações de diversos poluentes, nomeadamente os compostos orgânicos voláteis (COV), PHAs, o ácido sulfúrico (H₂S), SO₂, NO_x e PM₁₀. Quando ocorrem períodos de excedências é utilizado um modelo de dispersão Gaussiano *backward*, pela autoridade portuária e são analisados os registos de atividade portuária, fornecidos pelos operadores, a fim de identificar as fontes de emissão e medidas de mitigação (ESPO, 2013).

Recentemente, foi realizado um projeto, financiado pelo programa europeu LIFE +, de 2012 a 2015,

Clean Air in Ports, pela associação União de Conservação da Natureza e da Biodiversidade (NABU) da Alemanha, que teve como objetivo promover a discussão e a divulgação das melhores práticas no âmbito da gestão da qualidade do ar entre os diferentes *stakeholders*, nomeadamente decisores políticos, autoridades portuárias, público em geral e entidades/pessoas especialistas. Com este intuito foram desenvolvidos workshops em seis cidades portuárias, Hamburgo, Antuérpia, Londres, Copenhaga, Barcelona e Gdansk e como consequência foi desenvolvido um manual onde são apresentadas medidas passíveis de ser aplicadas pelas autoridades portuárias (NABU, 2015). Algumas das práticas aplicadas nos portos são por exemplo:

- O estabelecimento de áreas de controlo de emissão, no que diz respeito ao teor de enxofre no combustível, denominadas por ECAs (Área do Mar Báltico, do Mar Norte, Norte Americana e do Mar das Caraíbas dos Estados Unidos), ou seja, o transporte marítimo e todos os equipamentos que utilizem combustíveis fósseis são obrigados, nestas zonas a modificar o combustível para um teor inferior a 0,1%, sendo que fora das ECAs é permitido um teor de 3,5% até 2020 (IMO, 2018);
- A utilização de fontes de energia terrestres (OPS) pelos navios, quando atracados nas áreas portuárias, para suportar atividades de carga e descarga de mercadorias, de aquecimento, iluminação e para outras atividades a bordo. Uma vez alterada a fonte de energia dos motores auxiliares que utilizam combustíveis fósseis, contribui-se para a melhoria da qualidade do ar. No entanto, o resultado da melhoria depende de como a energia é gerada, deste modo a aposta em energia renovável, será uma medida ambientalmente sustentável (Davarzani *et al.*, 2016; Sciberras *et al.*, 2016).

De acordo com a IMO, para que os portos reduzam as suas emissões é crucial a sua quantificação através do desenvolvimento de inventários. Neste âmbito, em Portugal encontra-se a decorrer o projeto *AIRSHIP* (www.airship.web.ua.pt), com o principal objetivo de “avaliar o impacto das emissões do transporte marítimo na qualidade do ar em Portugal e, com grande detalhe, na área urbana do Porto”, e de identificar medidas ou estratégias de melhoria da qualidade do ar (CESAM, 2018). Neste projeto serão inventariadas as emissões marítimas para Portugal, simulado o seu impacto na qualidade do ar em Portugal, com recurso à modelação numérica em cenário climático presente e futuro. O Porto de Leixões é o caso de estudo à escala local, que irá possibilitar “conhecer as emissões associadas as atividades portuárias e do seu impacto na qualidade do ar local” (CESAM, 2018). Este projeto é realizado no Departamento de Ambiente e Ordenamento pelo Centro de Estudos do Ambiente do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro, sendo financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (DAO, 2018).

O presente estágio pretende contribuir para compreensão/identificação do impacto da atividade portuária, especificamente do manuseamento de mercadoria, nas concentrações de poluentes no ar ambiente e no ambiente sonoro, em particular nos casos de estudo Porto de Aveiro e Leixões. E ainda propor algumas medidas de melhoria na temática da gestão da qualidade do ar.

Deste modo, nos capítulos 4 e 5 é realizada a avaliação do contributo das atividades portuária, na qualidade do ar à escala local, com base nos dados monitorizados nos casos de estudo (Porto de Leixões e o Porto de Aveiro). Para tal, será realizada uma caracterização da localização geográfica, da área envolvente e a caracterização climática, juntamente com a análise de tendências das concentrações de poluentes monitorizadas nos casos de estudo e a sua correlação com o registo de carga manuseada. Para além destes aspetos, será ainda abordado o impacto do manuseamento de mercadorias no ambiente sonoro para o caso de estudo do Porto de Leixões.

4. Porto de Leixões

De forma a avaliar a qualidade do ar na envolvente do Porto de Leixões, 4.1 é apresentada uma breve caracterização sobre a sua localização geográfica, área envolvente, caracterização climática, e serão identificadas as principais atividades desenvolvidas no porto e seguidamente (4.2) é realizada uma descrição acerca dos objetivos, motivos e procedimentos da monitorização da qualidade do ar e do Plano de Acompanhamento da Monitorização da Qualidade do Ar no Porto de Leixões realizado pelo IDAD. No subtópico 4.2.3 é realizada uma avaliação da qualidade do ar e da contribuição das atividades portuárias; no subtópico 4.2.4 é ainda descrita a metodologia de monitorização do ambiente sonoro na APDL e realizada uma avaliação do ruído causado pela movimentação de granéis e contentores.

4.1. Caracterização do Porto de Leixões

A gestão do Porto de Leixões é da responsabilidade da Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A., designada por APDL. Esta entidade, enquanto Autoridade Portuária é responsável pela sua exploração económica, segurança e combate à poluição, conservação e desenvolvimento, garantindo serviços operacionais, especialmente a ajuda à navegação, controlo do tráfego marítimo, prestação de serviços de amarração, guindagem, armazenagem, aguada, recolha de resíduos, energia elétrica, rebocadores e pilotagem, entre outros (APDL, 2017).

O Porto de Leixões localiza-se na faixa Litoral Norte de Portugal, no concelho de Matosinhos, nomeadamente nas freguesias de Leça da Palmeira, a Norte, e de Matosinhos, a sul. O concelho de Matosinhos, enquadra-se numa zona urbana, com uma densidade populacional de 2 811,3 habitantes por quilómetro quadrado.

É constituído por seis terminais e quatro docas, Doca 1 (Norte e Sul), Doca 2 (Norte e Sul) e Doca 4 Norte (Figura 7).



Figura 7 – Instalações do Porto de Leixões e localização das estações de monitorização da qualidade do ar (Fixa e Móvel).

A Doca 1 Norte localiza-se no terminal RO-RO onde é movimentada carga contentorizada (em contentores). Na Doca 2 Norte as principais mercadorias movimentadas são ferro, aço, paralelepípedos e pedras de granito. Relativamente à Doca 4 Norte, também designada por Terminal Cerealífero, são movimentados, maioritariamente, graneis sólidos agro-alimentares.

Na Doca 2 Sul ocorre principalmente a descarga e carga de sucata, pellets e ferro/aço. No entanto, também se verifica a movimentação de graneis líquidos, nomeadamente, produtos asfálticos e fuelóleo que tem como destino a CEPISA – Companhia Portuguesa de Petróleos, Lda, em Leça da Palmeira, ocorrendo ainda o transporte das mercadorias da APDL até à CEPISA através de pipelines. Na Doca 1 Sul localizam-se dois armazéns para a receção e expedição de cimento a granel, concessionados à empresa Secil.

A APDL detém ainda instalações especializadas para o armazenamento e transporte de mercadorias. É o caso dos silos portuários, que são vocacionados para armazenamento de mercadoria agro-alimentar; oleodutos e gasodutos, para o transporte de produtos asfálticos e fuelóleo; e de armazéns para a receção e expedição de cimento a granel. Dispõem ainda de um novo terminal de cruzeiros, inaugurado em 2011, que permite a escala em Leixões dos maiores navios de cruzeiro, promovendo, desta forma o turismo regional e consequentemente o crescimento da economia. Este terminal localiza-se no Molho Sul do Porto de Leixões.

Na Figura 8 apresenta-se o número de navios, a quantidade e tipo carga movimentada para o período de 2000 a 2017.

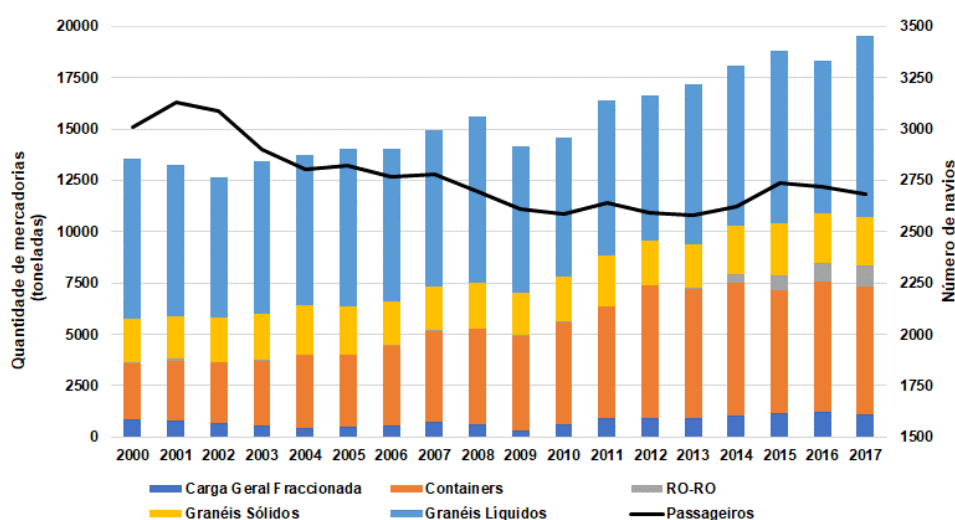


Figura 8 – Evolução da movimentação de mercadoria e do número de navios para o período 2000-2017.

Devido à sua localização geográfica, extensão e capacidade, este Porto é um importante centro de distribuição de mercadorias Transeuropeia, ocupando cerca de 55 hectares de área terrestre e 120 hectares de área molhada. Constitui o segundo maior porto artificial de Portugal, compreendendo cerca de 25% do comércio internacional português (APP, 2018) e movimenta cerca de 15 milhões de toneladas de mercadorias por ano, passando por Leixões cerca de 2 700 navios por ano (Figura 8). A mercadoria movimentada no porto tem vindo a aumentar em cerca de 44%, entre 2000 e 2017, devido ao aumento significativo da carga contentorizada de 127%.

De forma a caracterizar o clima nesta região de estudo, a Figura 9 apresenta a temperatura média e precipitação média mensal para a Área Metropolitana do Porto.

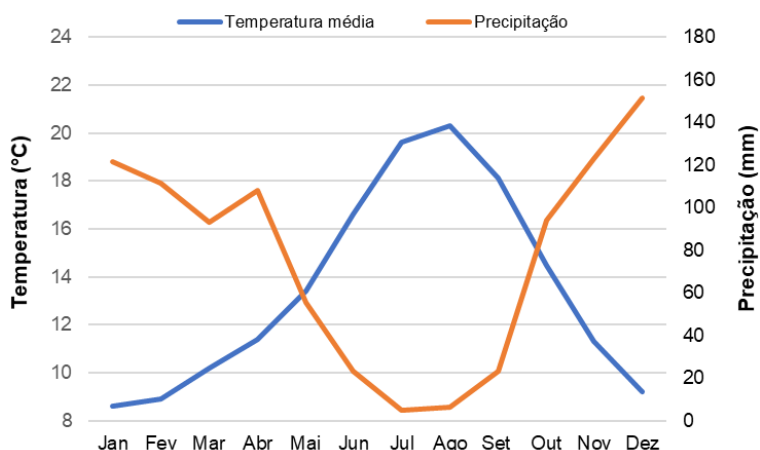


Figura 9 – Temperatura média e precipitação acumulada da Área Metropolitana do Porto, referente ao período 1971-2000 (IPMA, 2015).

Em termos climáticos Matosinhos, insere-se na Área Metropolitana do Porto, onde a temperatura média anual é de 13°C e a pluviosidade cerca de 1072 mm. Por norma e observando a Figura 9, os meses mais secos são julho e agosto, com cerca de 7 mm de precipitação mensal, enquanto o mês de dezembro é o mês em que se regista maior precipitação, em média 177 mm. Agosto é o mês mais quente do ano, com uma temperatura média de 19,8°C, enquanto janeiro é o mês que apresenta as temperaturas mais baixas, com uma média de 7,6°C (Figura 9).

4.2. Projeto de Monitorização da Qualidade do Ar

Com o objetivo de avaliar o potencial impacto na qualidade do ar das atividades portuárias, a APDL possui, desde 2012, duas estações de monitorização da qualidade do ar: uma estação móvel localizada junto à Doca 4 Norte e uma estação fixa junto à Doca 2 Sul e ao Terminal de Contentores Sul (Figura 7). Ambas as estações realizam monitorização em contínuo dos poluentes atmosféricos PM10 e PTS e de variáveis meteorológicas como a precipitação, velocidade e direção do vento. Os equipamentos de medição de partículas usados, através do princípio de atenuação Beta, permitem a obtenção das concentrações médias diárias.

Esta medida surge no âmbito da preocupação demonstrada pelos moradores na envolvente do Porto de Leixões, em 2010, acerca das partículas emitidas no manuseamento de estilha, aparas de madeira, à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR Norte) (Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2010).

Tendo o Porto de Leixões conhecimento destas preocupações e consciência dos impactes inerentes às operações portuárias, nomeadamente na qualidade do ar, tem adotado diversas medidas para minimizar os incómodos causados nas zonas de interface porto-cidade. Entre estas medidas é de referir a aquisição de equipamentos de monitorização da qualidade em 2011, com vista à melhor identificação de possíveis fontes de poluição atmosférica. Em 2014, o IDAD, empresa onde é realizado o estágio, foi contratada para a análise e interpretação dos dados medidos de qualidade do ar.

Antes desta data, em 2007, devido à identificação de emissões fugitivas de partículas durante a etapa de descarga e armazenamento de sucata nesta área portuária, o IDAD já tinha sido contratado para a realização de um estudo, acerca da avaliação do impacto na qualidade do ar local e da identificação de medidas de mitigação (Borrego *et al.*, 2007).

Na Figura 10 encontram-se as principais fontes emissoras de PM identificadas neste estudo, nomeadamente:

- Descarga de sucata do navio e armazenamento em pilhas, com recurso a guindastes;
- Carregamento da pilha para o camião;
- Tráfego de veículos no cais de descarga;
- Erosão eólica da superfície da pilha.



Figura 10 – Fontes de emissão associadas à movimentação de sucata no Porto de Leixões (Borrego *et al.*, 2007).

A metodologia aplicada baseou-se na monitorização dos parâmetros meteorológicos (temperatura, radiação, humidade do ar, precipitação, velocidade e direção do vento) e das concentrações horárias de PM e PTS em períodos coincidentes com o manuseamento de sucata e sem descarga de sucata e ainda na aplicação de modelação física, nomeadamente no túnel de vento do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Tendo sido verificado que a concentração horária de PTS (partículas totais em suspensão) era superior junto ao cais de descarga do que na área habitacional (a cerca de 200 metros de distância). Contrariamente, a concentração horária de PM₁₀ era superior na área habitacional demonstrando o efeito gravitacional das partículas e o efeito de recirculação. Uma das razões apontadas para esta

situação é o facto de as partículas se acumularem junto às paredes. Para além disso, também constataram que a direção do vento e a precipitação eram os fatores preponderantes na dispersão de partículas, visto que durante a campanha de monitorização, quando a direção do vento se encontrou no quadrante sul - sudoeste e na presença de precipitação, ocorreu uma redução de 25% dos valores de concentração. Deste modo, foram analisadas diversas soluções técnicas com recurso ao túnel de vento, particularmente a construção de uma barreira de contentores a favor do vento e a utilização de uma barreira móvel porosa da mesma altura, mas a barlavento, ou seja, a montante da pilha de sucata. A solução tecnicamente mais eficiente seria a combinação das duas soluções, ainda assim apenas foi implementada a construção de uma barreira de contentores a sotavento, impedindo deste modo a dispersão de partículas para a área residencial (Borrego *et al.*, 2007).

Face à preocupação da APDL na minimização dos impactos das suas atividades no meio envolvente, com principal foco no bem-estar da população residente na área envolvente, tem vindo a ser implementadas algumas medidas (Tabela 2) com o intuito de diminuir os riscos e os incómodos causados pelas atividades portuárias.

Tabela 2 – Medidas de minimização dos incómodos implementadas pelo Porto de Leixões.
[Adaptado de (APDL, 2018)]

| Medidas | Ano de execução |
|---|------------------------|
| Início da elaboração de Relatórios de Sustentabilidade; | 2006 |
| Monitorização do ruído na área portuária e elaboração dos respetivos relatórios; | |
| Aquisição de equipamento de medição de partículas e instalação; | |
| Aquisição de um manto geotêxtil para cobertura de estilha; | |
| Reforço da barreira de contentores do parque de estilha e colocação de uma estrutura a sotavento no topo; | 2011 |
| Manutenção da limpeza e lavagem das áreas de operação de movimento de cargas; | |
| Implementação de zonas verdes e de uma cortina arbórea nas zonas de interface com a cidade; | |
| Elaboração de um procedimento para fiscalização do combustível utilizado pelos navios no porto; | 2015 |
| Circunscrição do movimento de carga aos limites da barreira de contentores; | |
| Controlo da altura da pá das gruas durante o manuseamento de graneis sólidos; | 2016 |
| Desenvolvimento de alternativas para o fornecimento de energia elétrica aos navios atracados. | |

De entre as medidas aplicadas, salienta-se os projetos de Acompanhamento do Plano de Monitorização da Qualidade do Ar e do Plano de Monitorização do Ambiente Sonoro, realizados pelo IDAD.

O Plano de Monitorização da Qualidade do Ar no Porto de Leixões compreende a elaboração de um relatório mensal, onde é realizada a análise dos dados de monitorização relativos às PTS e PM10, com base no DL n.º 102/2010, de 23 de setembro. Posteriormente, é identificada a possível contribuição dos eventos naturais (como os incêndios e a intrusão de poeiras com origem em regiões áridas dos desertos do Norte de África), dos movimentos de graneis sólidos e do movimento de veículos na área portuária.

Neste âmbito, uma das tarefas realizadas durante o estágio compreendeu a elaboração dos relatórios de qualidade do ar mensais desde agosto de 2017.

A título de exemplo, nas Figura 11, 12 e 13 é apresentada a análise mensal da contribuição do manuseamento de mercadoria e do movimento de veículos, na área portuária, nas concentrações diárias de PM10 e PTS, para o mês de agosto de 2017. Na Figura 11 representa-se a concentrações médias diárias monitorizadas de PM10 na Estação Móvel durante o mês de agosto, não são apresentadas as concentrações para a Estação Fixa, uma vez que o equipamento de medição se encontrou avariado neste período.

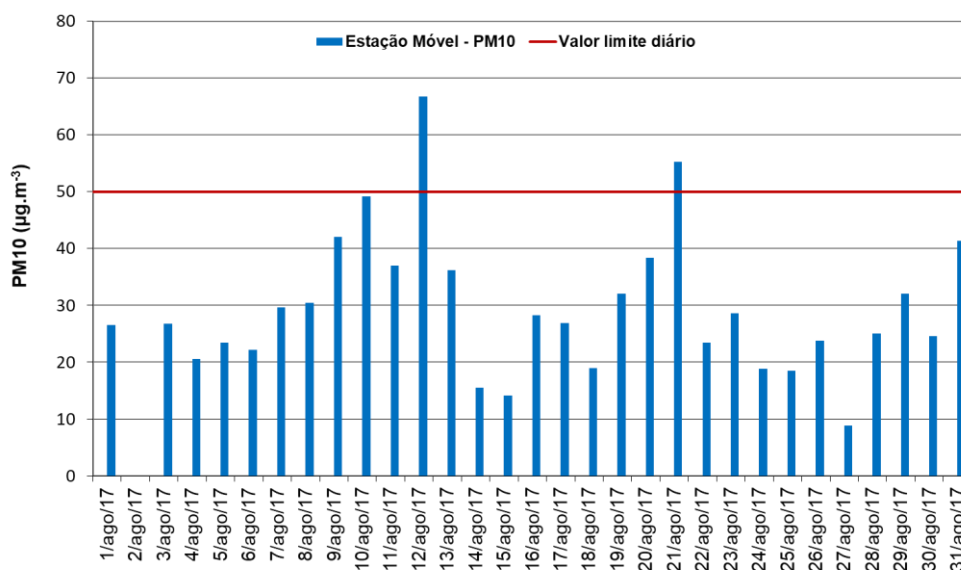


Figura 11 – Distribuição temporal das médias diárias registadas no mês de agosto de 2017 para PM10, na APDL.

Através da análise da Figura 11 verifica-se que ocorreram 2 excedências ao valor limite durante o período de monitorização e o valor médio durante o período analisado, $30 \mu\text{g.m}^{-3}$, é inferior ao valor limite anual legislado ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Na Figura 12 encontram-se os níveis de concentração PTS monitorizados na Estação Móvel e na Fixa.

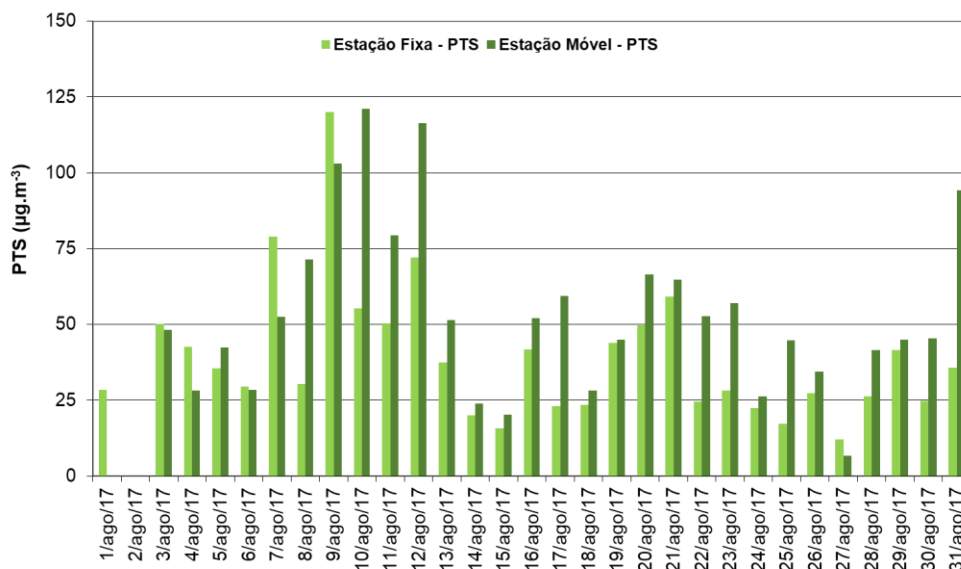


Figura 12 - Distribuição temporal das médias diárias para PTS para o mês de agosto de 2017, nas estações da APDL.

Através da análise da Figura 12, em que o valor médio registado de PTS, durante o período de amostragem foi de 53 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (Estação Móvel) e de 39 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (Estação Fixa), salienta-se o facto de não haver valor limite legislado. Para este parâmetro, destacam-se os dias 9, 10 e 31 de agosto de 2017 com as concentrações médias mais elevadas. Relativamente ao diferencial observado entre as duas estações, salientam-se os dias 10, 12 e 31 de agosto de 2017, com concentrações diárias de PTS na Estação Móvel significativamente superiores às registadas na Estação Fixa. Nestes casos a diferença entre ambas as estações variou entre 44 e 66 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Relativamente às operações de carga e descarga de mercadorias no Porto de Leixões, são analisados os granéis sólidos, uma vez que devido às suas características físicas, têm maior impacto nas concentrações de partículas. Neste âmbito, são analisadas as mercadorias movimentadas na Doca 2 Norte, Doca 4 Norte e na Doca 2 Sul. As mercadorias movimentadas nestas docas foram referentes a granéis agro-alimentares, mercadorias diversas, paralelepípedos, pellets, sucata, vidro, ferro/aço, pedras de granito e cimento.

Na Figura 13 é apresentada, a mercadoria movimentada na Doca 2 Norte, para o mesmo período (agosto de 2017) em que a maior quantidade de carga movimentada correspondeu ao ferro/aço, seguido de paralelepípedos e pedras de granito.

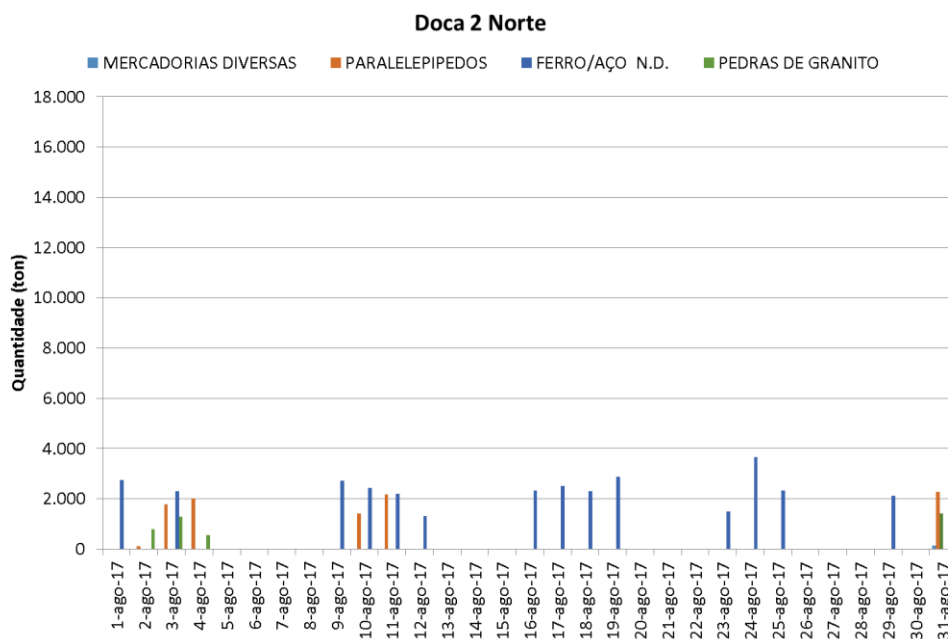


Figura 13 - Quantidade de mercadoria movimentada na Doca 2 Norte, durante o mês de agosto de 2017.

Na análise da mercadoria movimentada no Porto de Leixões, durante o mês de agosto não se evidenciou a existência de influência significativa nos níveis de PM₁₀, tendo este estudo sido feita com o recurso à análise e avaliação das rosas de vento relativas aos dias em que se verificaram ultrapassagens ao valor limite diário.

Relativamente às PTS, também se utilizou a mesma metodologia e confirmou-se que poderá ter ocorrido influência das movimentações portuárias nos níveis registados, nomeadamente durante a movimentação da sucata. No entanto como as PTS correspondem a todas as partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar com diâmetro aerodinâmico inferior a 100 micrómetros, e como são sobretudo as partículas inferiores a 10 micrómetro que têm impactos na saúde humana, a movimentação de sucata neste período poderá não ter influência na qualidade do ar, com risco para a saúde humana.

Relativamente aos veículos que circulam na área portuária é analisado o registo diário, uma vez que pode também contribuir para os níveis de partículas registados nas estações de medição, destacando-se as emissões dos veículos pesados e a ressuspensão de partículas durante a circulação nas vias portuárias (Figura 14).

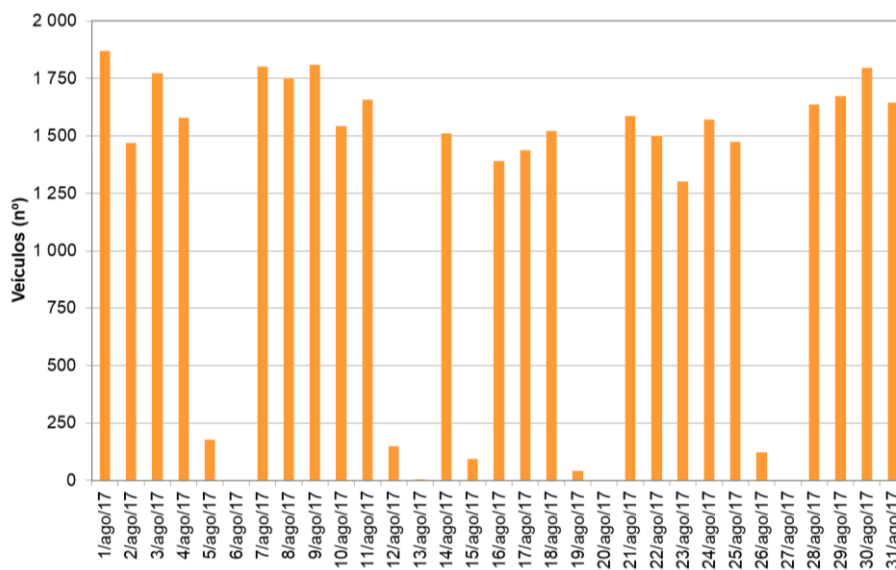


Figura 14 - Movimento de veículos no Porto de Leixões, durante o mês de agosto de 2017.

Durante os dias úteis regista-se um movimento de veículos relativamente estável variando entre aproximadamente 1300 a 1900 veículos por dia. Relativamente às PTS, é notório o aumento de concentrações entre o fim de semana e o início da semana (exemplo: 7, 16, 21 e 28 de agosto de 2017), podendo esta situação estar igualmente relacionada com o aumento de circulação de veículos na envolvente da estação (Figura 14).

Também é avaliado o diferencial das concentrações dos poluentes atmosféricos entre as estações de monitorização da qualidade do ar da APDL e as estações pertencentes à Rede de Monitorização da Qualidade do Ar do Norte, nomeadamente à Aglomeração Porto Litoral (Estação da João Gomes Laranja - S. da Hora, Leça do Balio, Perafita e a estação Seara - Matosinhos) (Figura 15).

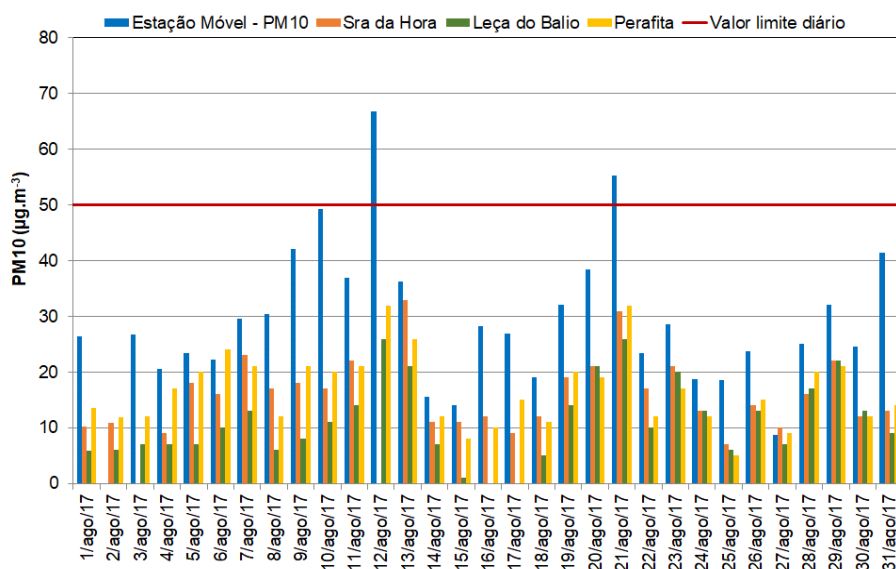


Figura 15 - Concentração média diária de PM10, na Estação Móvel da APDL e estações fixas da CCDD Norte.

Pela análise da Figura 15, os resultados apontam para uma relativa concordância entre as concentrações registadas nas estações de Sra da Hora e Perafita (correlação de 0,7). Em Leça do Balio as concentrações são globalmente mais reduzidas e com menor correlação com o perfil observado nas restantes estações da CCDR. Nos mesmos períodos, os níveis nas estações da APDL são superiores, com períodos diários em que a diferença entre ambos os resultados é próximo ou superior a $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ (exemplo: dias 10, 12 e 31 de agosto de 2017).

Para além disso é determinado o índice de qualidade do ar para as Estações da APDL e para as Estações pertencentes à Aglomeração Porto Litoral (Figura 16), tendo apenas em consideração o poluente atmosférico, PM10.

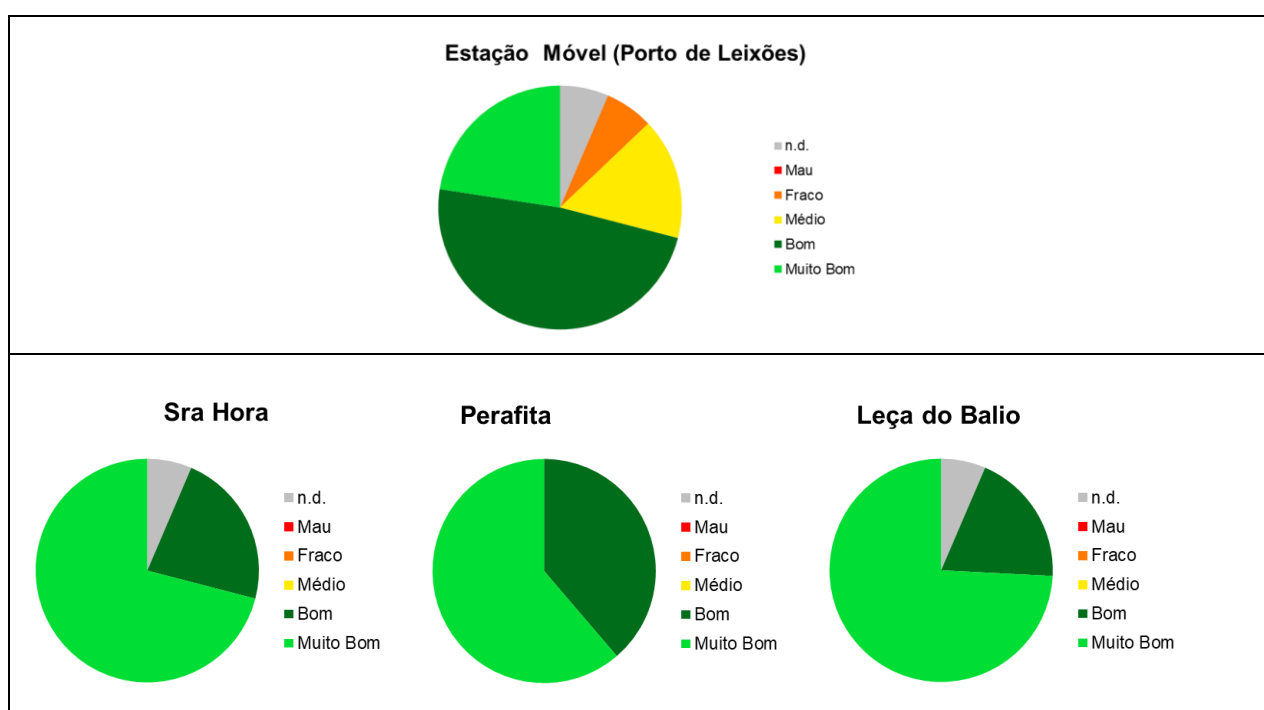


Figura 16- Índices de qualidade do ar para cada dia com concentração média diária de PM10 na Estação Móvel da APDL e estações fixas da CCDRN.

Pela análise da Figura 16, o índice de Qualidade do Ar, para a medição na Estação Móvel no Porto de Leixões apresenta uma classificação maioritária de Bom ao longo do período de medição (48% dos dias). O índice obtido para o ponto localizado na APDL reflete o diferencial verificado nas concentrações medidas de PM10, com concentrações médias superiores na estação da APDL. Deste modo, nas estações da CCDR observa-se um aumento da frequência do índice Muito Bom (61 a 74% dos dias), seguida da classificação Bom, em 19 a 39% dos dias.

Na Figura 17 encontra-se representada a localização geográfica das estações de monitorização da qualidade do ar utilizadas na avaliação da qualidade de ar ambiente, que incluem 2 estações dentro da área de jurisdição da APDL (Fixa e Móvel) e 4 fora da APDL, sob competência da CCDR Norte.

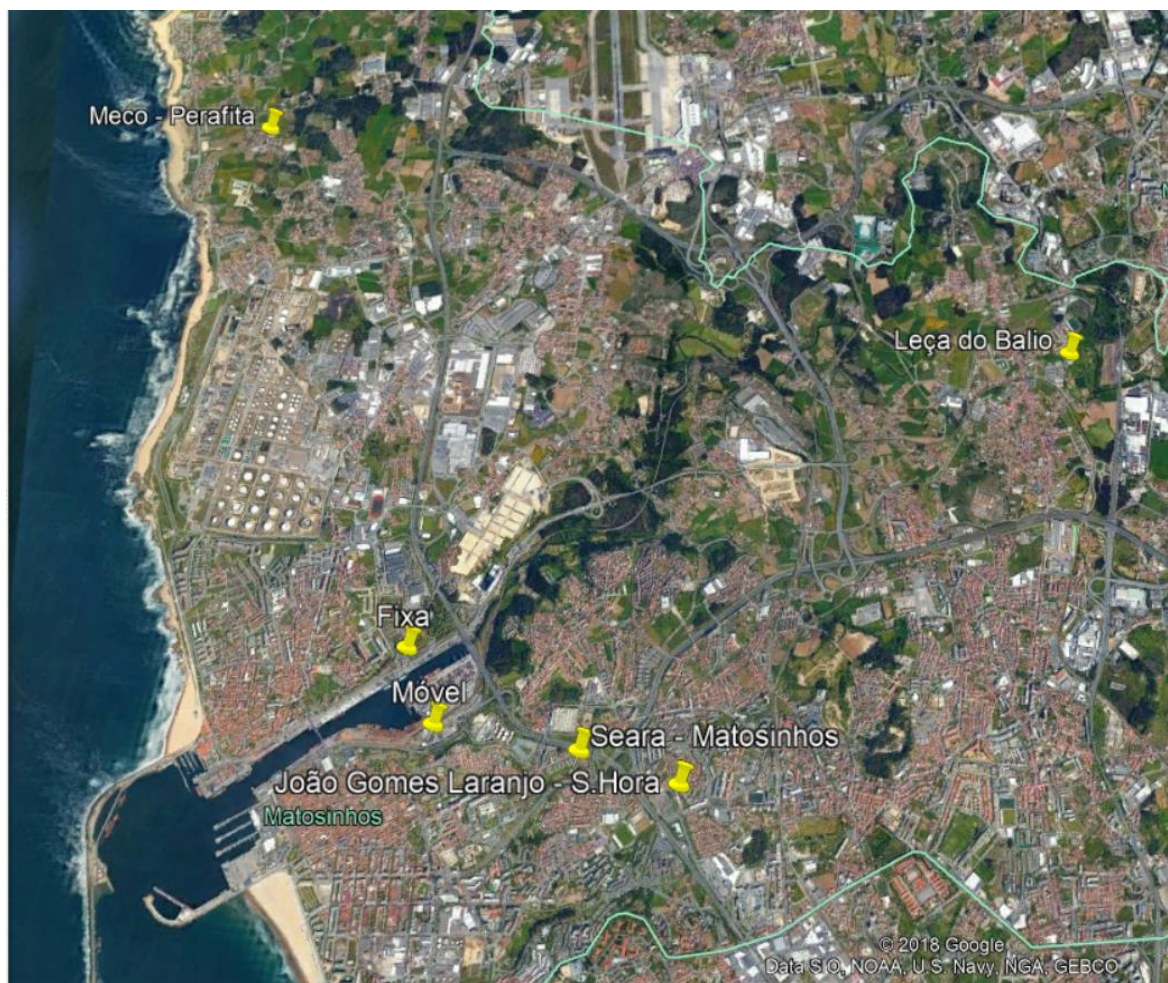


Figura 17 – Localização das estações de monitorização da qualidade do ar da APDL (Fixa/Móvel) e da Comissão de C ordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR Norte).

Na Figura 13 encontra-se a caracterização, relativamente ao tipo de ambiente e influência das 4 estações da rede de monitorização nacional, e a sua distância às estações da APDL (QualAr, 2018).

Tabela 3 – Caracterização das estações de monitorização da qualidade do ar pertencentes à Qualar.

| Estação de Qualidade do ar | Distância à Estação Fixa - APDL | Distância à Estação Móvel - APDL | Tipo de Ambiente | Tipo de Influência |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------------|
| Meco - Perafita | 4,8 km a nor-noroeste | 5,4 km a nor-noroeste | Suburbana | Industrial |
| Leça do Balio | 5,5 a lés-nordeste | 5,5 km a nordeste | Suburbana | Fundo |
| Seara - Matosinhos | 1,1 km a este | 1,5 km a lés-sudeste | Urbana | Industrial |
| João Gomes Laranjo – S. Hora | 1,9 lés-sudeste | 2,3 km a lés-sudeste | Urbana | Tráfego |

Relativamente à estação de monitorização de qualidade do ar, Meco Perafita, esta localiza-se na freguesia de Perafita, no concelho de Matosinhos. A freguesia de Perafita, de acordo com os censos de 2011, tem uma densidade populacional de 1 573,8 habitantes por quilómetro quadrado (INE, 2011). É importante salientar, que esta estação se encontra a cerca de 1,5 km a Norte da Refinaria de Matosinhos e a cerca de 3 km a este do Aeroporto do Porto.

A estação de monitorização da qualidade do ar, Seara – Matosinhos, localiza-se na freguesia de Matosinhos, numa zona urbana, com uma densidade populacional de 2 589 habitantes por quilómetro quadrado (INE, 2011) e é a mais próxima do Porto de Leixões. Devido às atividades que ocorrem no Porto de Leixões e sobretudo à proximidade da indústria petroquímica, é categorizada quanto à influência como Industrial.

A estação de monitorização da qualidade do ar: Leça do Balio é uma estação de fundo que se insere na área suburbana da freguesia de Leça do Balio, no concelho de Matosinhos. A freguesia de Leça do Balio tem uma densidade populacional de 1 928 habitantes por quilómetro quadrado (INE, 2011).

A estação de monitorização da qualidade do ar, João Gomes Laranjo – Senhora da Hora, é categorizada quanto ao tipo de influência, de Tráfego, localizando-se, numa área urbana, da freguesia de Senhora da Hora. Esta freguesia tem uma densidade populacional de 7 343,6 habitantes por quilómetro quadrado (INE, 2011).

4.3. Tratamento e análise de dados

Apesar da APDL deter duas estações de monitorização da qualidade do ar, apenas se irão utilizar os dados referentes à Estação Móvel para avaliação da qualidade do ar, uma vez que a Estação Fixa não esteve em funcionamento em 2016 e em 2017 (período em estudo), apresentando uma eficiência de recolha de dados relativamente baixa, cerca de 24%. De acordo como o DL n.º 102/2010, de 23 de setembro, para estações fixas e para as partículas em suspensão PM10, é exigido que a taxa mínima de recolha dos dados seja igual ou superior a 90%. Na Tabela 4 encontram-se sistematizadas as eficiências de aquisição de dados referentes ao ano de 2016 e 2017 para a Estação Móvel.

Tabela 4 – Eficiência de aquisição de dados referente aos anos 2016 e 2017 para a Estação Móvel da APDL.

| Parâmetro | 2016 | | 2017 | |
|----------------------------------|------|-----|------|-----|
| | PM10 | PTS | PM10 | PTS |
| Número de amostras diárias | 336 | 340 | 317 | 314 |
| Eficiência de aquisição de dados | 92% | 93% | 87% | 86% |

Como se pode observar na Tabela 4, a Estação Móvel apresentou em 2016 e 2017 uma eficiência de recolha de dados superior a 86%, garantindo uma elevada representatividade temporal dos dados.

A matéria particulada, nomeadamente as PM10, é um dos poluentes atmosféricos mais críticos que representam sérios riscos para a saúde humana e para o ambiente na Europa (EEA, 2013a). Os impactos na saúde humana dependem da composição química da PM, uma vez que podem resultar da emissão direta para a atmosfera ou podem resultar de reações químicas envolvendo gases precursores como o SO₂, NO_x, NH₃ (amónio) e os COV (compostos orgânicos voláteis) (EEA, 2013a). As concentrações de partículas podem estar associadas a um vasto leque de fontes de emissão, incluindo por exemplo o tráfego automóvel, a indústria, a queima doméstica e as fontes naturais (transporte de poeiras do Norte de África e os incêndios florestais). Deste modo pode ser difícil a identificação de um padrão ou correspondência entre os níveis médios observados e as fontes de emissão específicas.

Tendo em conta estes factos (diferentes origens) tentou-se, neste trabalho identificar outras possíveis fontes que influenciam as concentrações medidas no Porto de Leixões.

A Figura 18 refere-se às concentrações diárias do poluente PM10 obtidas através da monitorização em contínuo realizada na Estação Móvel da APDL, para o período de estudo (2016-2017).

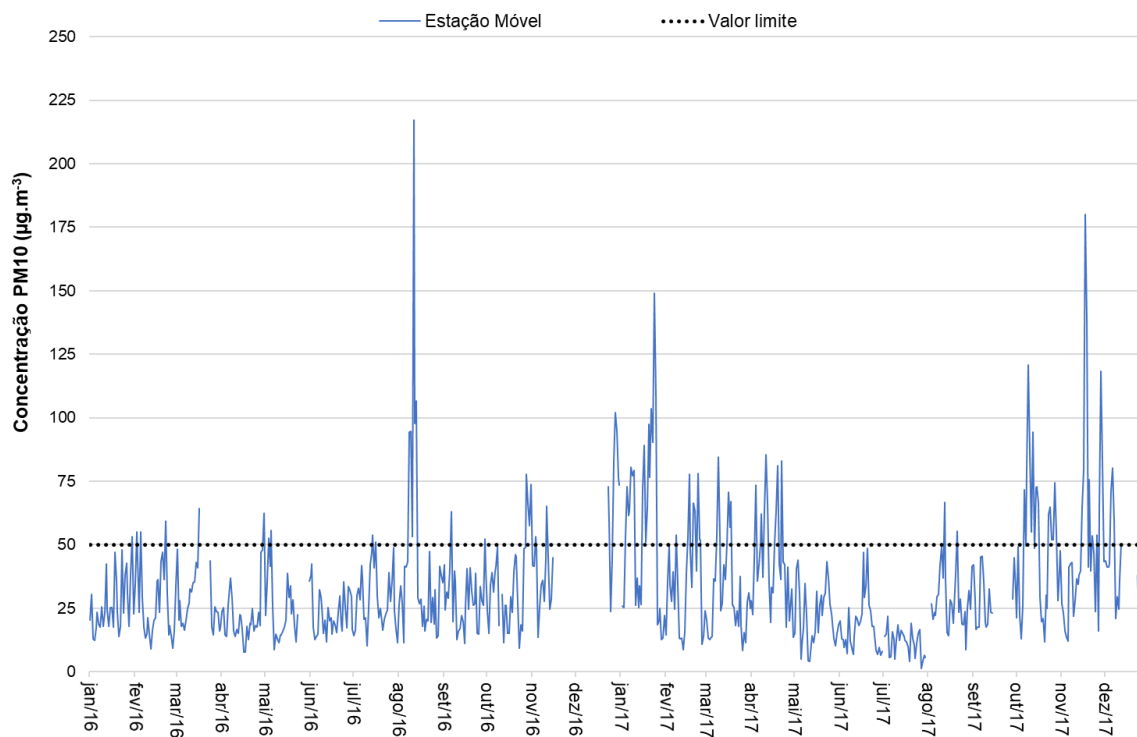


Figura 18 – Concentrações médias diárias de PM10 monitorizadas na APDL.

Através da análise da Figura 18 observa-se que no ano de 2017 registaram-se maior número de ocorrências de excedências ao valor limite de concentração diário ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$), estipulado no DL nº 102/2010 de 23 de setembro: 74 face às 32 excedências registadas em 2016. Por outro lado, o valor limite anual ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$), não foi excedido em nenhum dos anos, uma vez que a concentração anual registada foi $31 \mu\text{g.m}^{-3}$ em 2016 e $35 \mu\text{g.m}^{-3}$ em 2017.

A avaliação do indicador estatístico, o percentil 90,4, que corresponde ao 36º valor mais elevado numa série anual, e que segundo o DL n.º 102/2010, de 23 de setembro, deve ser inferior ao valor limite diário ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$) é indispensável, uma vez que o período de amostragem em 2016 corresponde a apenas 10 meses. Apesar do número máximo de excedências admissível (35 dias por ano civil) já ser ultrapassado em 2017, também se procedeu ao cálculo deste indicador. Verificou-se, para o ano de 2016, $51 \mu\text{g.m}^{-3}$ e para 2017, $73 \mu\text{g.m}^{-3}$, o que confirma que houve incumprimento do número máximo de excedências admissível (35 dias por ano civil).

De acordo com a Diretiva 2008/50/EC, é permitida a dedução da contribuição proveniente de fontes naturais, nomeadamente o transporte de partículas com origem nos desertos do Norte de África e os incêndios florestais, aquando da avaliação dos valores-limites relativos à qualidade do ar e é obrigatório reportar à UE. Neste âmbito, a Agência Portuguesa do Ambiente divulga na página web, no separador Políticas – Ar (www.apambiente.pt), a previsão de ocorrência de episódios de massa de ar contendo partículas e poeiras em suspensão, que poderão afetar a qualidade do ar em Portugal.

A título de exemplo é apresentada uma imagem da previsão do transporte de partículas com origem nos desertos de África, para o dia 4 de janeiro de 2017 (um dos dias com episódio de transporte de poeiras do de deserto de Sahara) que afetou todo Portugal Continental (Figura 19).

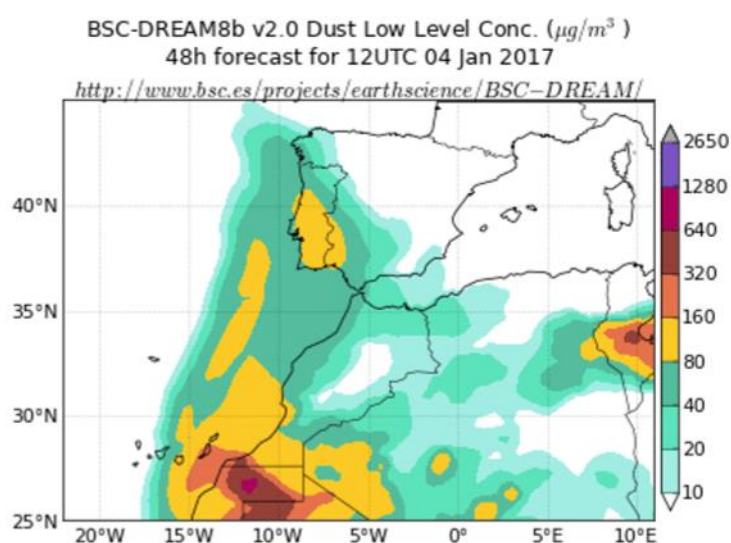


Figura 19 – Previsão do transporte de partículas com origem nos desertos de África para o dia 4 de janeiro de 2017 (APA, 2017).

Relativamente à ocorrência de incêndios, o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, ICNF, divulga um relatório onde constam a data, local e a dimensão do incêndio. Na Tabela 5 encontram-se os dias em que foram registadas excedências do valor limite diário no ano de 2016, e a respetiva identificação (ou não) dos episódios naturais e a mercadoria movimentada na área portuária.

Tabela 5 – Períodos com ultrapassagem do valor limite diário na Estação Móvel da APDL, no ano de 2016.

| Data | Concentração média diária de PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Previsão da contribuição das poeiras do Norte África ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Incêndios florestais no distrito do Porto | Mercadoria movimentada |
|------------|--|---|---|------------------------|
| 30-01-2016 | 53 | - | - | A |
| 02-02-2016 | 55 | - | - | A, B, C, D, E e F |
| 05-02-2016 | 55 | - | - | D, E e F |
| 22-02-2016 | 59 | 40-80 | - | F |
| 16-03-2016 | 64 | - | - | D, E e F |
| 30-04-2016 | 62 | - | - | A e D |
| 03-05-2016 | 53 | - | - | A, D, E e F |
| 05-05-2016 | 56 | 10-40 | - | D, E, F |
| 14-07-2016 | 54 | - | - | |
| 16-07-2016 | 51 | - | - | E |
| 08-08-2016 | 94 | - | Sim | D e F |
| 09-08-2016 | 95 | - | Sim | A, D, E e F |
| 10-08-2016 | 53 | 40-80 | Sim | A, D, E |
| 11-08-2016 | 217 | 10-20 | Sim | |
| 12-08-2016 | 98 | 10-20 | Sim | |
| 13-08-2016 | 107 | - | - | A e D |
| 06-09-2016 | 63 | 20-40 | Sim | A, E e F |
| 29-09-2016 | 52 | - | - | D e E |
| 28-10-2016 | 78 | 40-80 | - | F |
| 29-10-2016 | 66 | - | - | - |
| 30-10-2016 | 58 | - | - | - |
| 31-10-2016 | 74 | - | - | D, E e F |
| 03-11-2016 | 53 | 10-20 | - | D |
| 11-11-2016 | 65 | - | - | D e F |
| 23-12-2016 | 73 | - | - | |
| 24-12-2016 | 59 | - | - | D |
| 27-12-2016 | 83 | - | - | D, E, F |
| 28-12-2016 | 102 | - | - | D e C |
| 29-12-2016 | 95 | - | - | D |
| 30-12-2016 | 76 | - | - | |
| 31-12-2016 | 74 | - | - | |

Nota: A- Açúcar; B – Estilha; C – Vidro; D – Sucata; E – Paralelepípedos; F- Granéis agro-alimentares;

Analisando a Tabela 5 verifica-se que das 32 excedências registadas, 2 ocorreram em períodos sem carga e descarga de mercadorias, assim como na ausência de eventos naturais. Ainda se verificou que 10 ultrapassagens ao valor limite ocorreram em períodos de descarga e com potencial influência de fontes naturais, nomeadamente o transporte de partículas com origem nos desertos do Norte de África e com origem em incêndios.

Durante o período em análise, o ano de 2016, a ocorrência de intrusão de massas de ar contendo partículas e poeiras em suspensão na atmosfera contribuíram para o aumento da concentração de PM10 entre 10 a 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

As excedências ocorridas nos dias 29 e 30 de outubro não coincidem com o movimento de mercadorias nem com ocorrência de fontes naturais, deste modo podem refletir o efeito combinado de diferentes fontes, tais como movimento de veículos no interior da área portuária e tráfego rodoviário.

Na Tabela 6 encontram-se os dias em que foram registradas excedências do valor limite diário no ano de 2017, assim como a identificação dos episódios naturais e da mercadoria movimentada na área portuária.

Tabela 6 - Períodos com ultrapassagem do valor limite diário na Estação Móvel da APDL, no ano de 2017.

| Data | Concentração média diária de PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Previsão da contribuição das poeiras do Norte África ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Incêndios florestais no distrito do Porto | Mercadoria movimentada |
|------------|--|---|---|------------------------|
| 04/01/2017 | 53 | 40 – 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | - | D e F |
| 05/01/2017 | 73 | 40 – 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | - | D, F e G |
| 06/01/2017 | 62 | - | - | D |
| 07/01/2017 | 63 | - | - | - |
| 08/01/2017 | 81 | - | - | B, D, F |
| 09/01/2017 | 77 | - | - | D, F, G |
| 10/01/2017 | 79 | - | - | C, D e F |
| 16/01/2017 | 72 | - | - | D |
| 17/01/2017 | 89 | - | - | D e E |
| 18/01/2017 | 51 | - | - | D, E, F |
| 19/01/2017 | 65 | - | - | D |
| 20/01/2017 | 97 | - | - | D |
| 21/01/2017 | 77 | - | - | B, D e H |
| 22/01/2017 | 104 | - | - | B, D, F e H |
| 23/01/2017 | 90 | - | - | B |
| 24/01/2017 | 149 | - | - | B e D |
| 25/01/2017 | 109 | - | - | D e E |
| 08/02/2017 | 54 | - | - | D, E e F |
| 16/02/2017 | 53 | - | - | D e E |
| 17/02/2017 | 78 | 20 – 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | - | - |
| 20/02/2017 | 66 | - | - | E |
| 21/02/2017 | 63 | 20 – 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | - | D, E, G |
| 23/02/2017 | 78 | - | - | D, F, G |
| 24/02/2017 | 52 | 10 – 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | - | D, E, F |
| 25/02/2017 | 52 | - | - | C, D, E e F |
| 08/03/2017 | 54 | - | - | B, E, D, F e G |
| 09/03/2017 | 85 | - | - | |
| 10/03/2017 | 53 | - | - | |
| 15/03/2017 | 50 | - | - | |
| 16/03/2017 | 71 | - | - | |

| Data | Concentração média diária de PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Previsão da contribuição das poeiras do Norte África ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Incêndios florestais no distrito do Porto | Mercadoria movimentada |
|------------|--|---|---|------------------------|
| 17/03/2017 | 57 | - | - | B, D e E |
| 18/03/2017 | 67 | 10 – 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | - | B e D |
| 04/04/2017 | 73 | - | - | B, D, E, F e I |
| 07/04/2017 | 51 | - | - | D e E |
| 08/04/2017 | 62 | - | - | - |
| 10/04/2017 | 63 | - | - | D, E, F e J |
| 11/04/2017 | 86 | - | - | D, E e F |
| 12/04/2017 | 66 | - | - | |
| 17/04/2017 | 51 | - | - | |
| 18/04/2017 | 63 | - | - | |
| 19/04/2017 | 81 | - | - | D |
| 22/04/2017 | 83 | - | - | C e D |
| 12/08/2017 | 67 | - | Sim | E e F |
| 21/08/2017 | 55 | - | - | D, I e L |
| 06/10/2017 | 72 | - | - | D, F e G |
| 08/10/2017 | 80 | - | - | A, D e F |
| 09/10/2017 | 121 | - | - | - |
| 10/10/2017 | 86 | - | Sim | A, D e F |
| 11/10/2017 | 55 | - | - | A e F |
| 12/10/2017 | 94 | - | Sim | |
| 14/10/2017 | 73 | - | - | A e D |
| 15/10/2017 | 73 | - | - | - |
| 16/10/2017 | 66 | - | Sim | C e D |
| 23/10/2017 | 62 | - | - | B, D, F e G |
| 24/10/2017 | 65 | - | - | B, D, E, F e G |
| 25/10/2017 | 52 | - | - | B, D, E e F |
| 26/10/2017 | 52 | - | - | |
| 27/10/2017 | 74 | - | - | B, D, E e G |
| 28/10/2017 | 55 | - | - | B e D |
| 15/11/2017 | 65 | - | - | D e F |
| 16/11/2017 | 80 | - | - | D |
| 17/11/2017 | 180 | - | - | - |
| 18/11/2017 | 139 | - | - | - |
| 20/11/2017 | 76 | - | - | D e F |
| 22/11/2017 | 54 | - | - | E, F, M |
| 25/11/2017 | 54 | - | - | - |
| 27/11/2017 | 63 | - | - | D e F |
| 28/11/2017 | 118 | - | - | D |
| 29/11/2017 | 83 | - | - | D, E e M |
| 05/12/2017 | 71 | - | - | B e F |
| 06/12/2017 | 80 | - | - | B |
| 07/12/2017 | 60 | - | - | B e D |
| 12/12/2017 | 50 | - | - | C, D e H |
| 20/12/2017 | 98 | - | - | B, D e F |

Nota: A- Açúcar; B – Estilha; C – Vidro; D – Sucata; E – Paralelepípedos; F – Granéis agro-alimentares; G – Cimento; H – Pellets; I – Mercadorias diversas; J – Minérios (Areia, Caulino); L – Ferro; M – Pedras de Granito;

Através da observação da Tabela 6, verifica-se que nos dias 8 de janeiro, 23 de fevereiro, 8 de abril, 8 de outubro e 17 e 18 de novembro de 2017, ocorreram excedências ao valor limite, mas não se verificou movimentação de mercadoria, nem a ocorrência de eventos naturais. Relativamente ao transporte de partículas com origem nos desertos do Norte de África, em 2017, a contribuição para o aumento de PM10 oscilou, entre 10 a 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Na Figura 20, encontra-se representada graficamente a quantidade e tipo de mercadoria, em 2016 e 2017, assim como a quantidade de mercadoria movimentada durante os períodos de excedência ao valor limite diário de PM10.

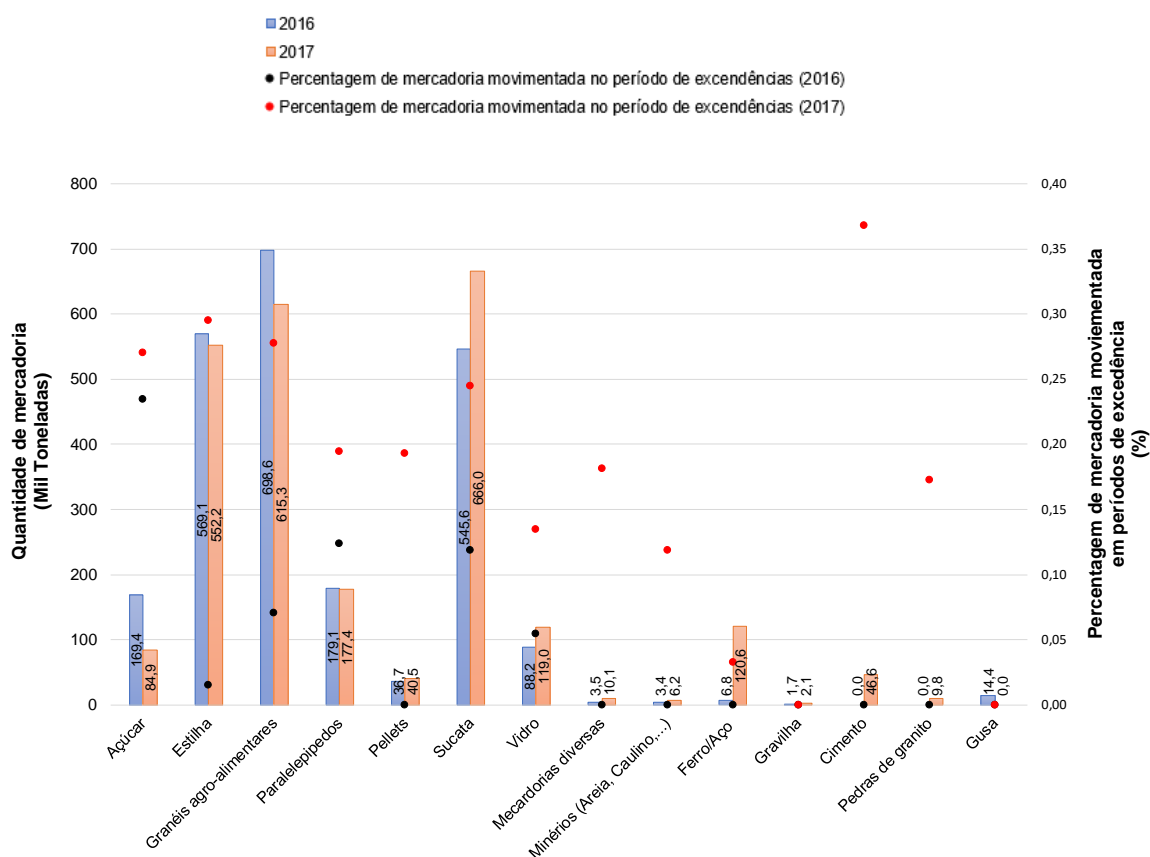


Figura 20 – Quantidade e tipo de mercadoria movimentada em 2016 e 2017 no Porto de Leixões.

De acordo com a Figura 20, constata-se que em 2016 ocorreu a movimentação de açúcar, estilha, granéis agro-alimentares, paralelepípedos, pellets, sucata, vidro, mercadorias diversas, minérios (areia, caulino, ...), ferro/aço, gravelha e gusa. Em 2017, não ocorreu a movimentação de gusa e adicionalmente ocorreu a movimentação de pedras de granito.

Relativamente a movimentação de mercadoria, durante os períodos em que ocorreram movimentação de mercadoria, a maior quantidade movimentada, em 2016, corresponde ao açúcar, aos grânéis agro-alimentares e a sucata e em 2017 corresponde à estilha, grânéis agro-alimentares e a sucata. Apesar de ter ocorrido um decréscimo do manuseamento de estilha, cerca de 3%, e dos grânéis agro-alimentares, cerca de 12%, entre 2017 e 2016, a quantidade de mercadoria movimentada, durante os períodos de excedências, é significativamente superior em 2017, no caso da estilha cerca de 1770% e nos grânéis agro-alimentares cerca de 246%. Contrariamente o comportamento do manuseamento de açúcar e sucata, durante os períodos de descarga, apresentam a mesma tendência. O açúcar sofreu um decréscimo em 2017 face a 2016, cerca de 50%, e durante os períodos de ultrapassagens ao valor limite, cerca de 42%. A descarga e carga de sucata teve um aumento de 22% em 2017 face a 2016, e durante os períodos de excedências ao valor limite diário de PM10 cerca de 151%.

Com o intuito de avaliar o impacto da carga e descarga de mercadoria na concentração média anual de PM10, é apresentada na Figura 21, o cálculo de vários parâmetros estatísticos calculados para os períodos em que ocorre movimentação de mercadoria e para os períodos sem movimentação de mercadoria, excluindo o domingo, tais como a mediana e os percentis (P10, P25, P75 e P90).

No período sem movimentação, em 2017, registaram-se 2 dias em que a concentração média diária de PM10 foi significativamente superior ao valor limite, 17 e 18 de novembro, cerca de 180 e 139 $\mu\text{g.m}^{-3}$, respetivamente (Tabela 12). Para este período não se registaram a ocorrência de eventos naturais e não é possível verificar-se se é um episódio de poluição a nível regional, uma vez que nesse dia as estações de monitorização da qualidade do ar da CCDR Norte não estiveram operacionais. Deste modo, estes *outliers*, afetam a média observada, e no Anexo I encontram-se representado o diagrama de caixa de bigodes, assim como a identificação dos *outliers* mais extremos. No período com movimentação não se eliminaram os *outliers*, uma vez que estes podem estar influenciados pelo manuseamento de mercadoria.

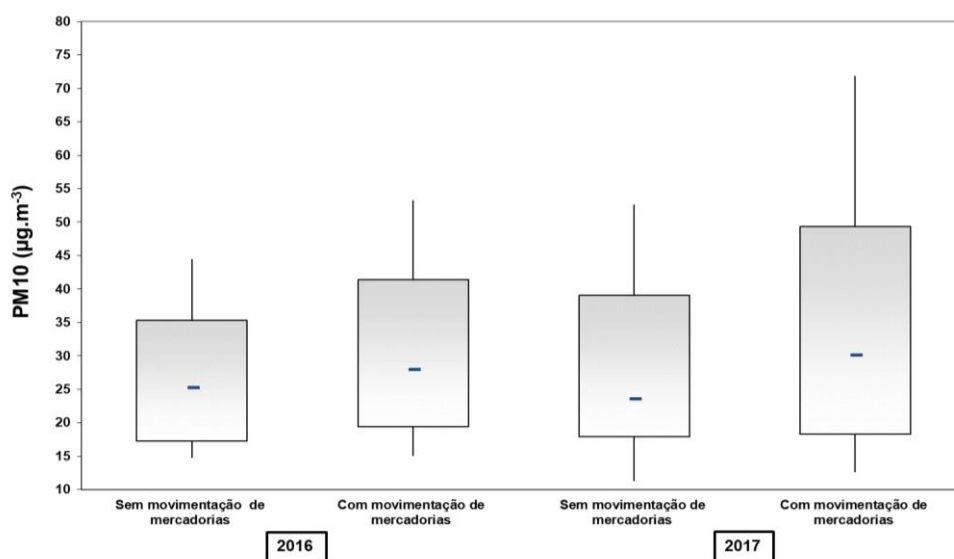


Figura 21 – Concentração de PM10 (mediana e percentis) observadas para os diferentes períodos de movimentação de mercadorias, para os anos 2016 e 2017.

Pela análise da Figura 21, observa-se uma ligeira subida da mediana quando se verifica movimentação de mercadoria, cerca de $3 \mu\text{g.m}^{-3}$ no ano de 2016 e cerca de $6 \mu\text{g.m}^{-3}$ no ano de 2017. Para além disso verificou-se que as concentrações mais elevadas de PM10 ocorrem em períodos coincidentes com a movimentação de mercadoria. Relativamente à concentração média de PM10: em 2016 nos períodos com movimentação de mercadoria registou-se $33 \mu\text{g.m}^{-3}$ e no restante período $27 \mu\text{g.m}^{-3}$; e em 2017 nos períodos coincidentes com movimentação de mercadoria registou-se $37 \mu\text{g.m}^{-3}$ e no restante período cerca de $30 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Com o intuito de verificar se a mediana da concentração de PM10, no período de movimentação de mercadorias é estatisticamente superior ao período sem movimentação, utiliza-se o teste U de Mann-Whitney. Este teste estatístico é uma alternativa não-paramétrica ao teste t para amostras independentes. Ao contrário do teste paramétrico t, o teste não-paramétrico não faz qualquer suposição quanto ao tipo de distribuição dos dados, assim como não pressupõe igualdade entre variâncias. Este teste, tal como muitos dos testes não-paramétricos, utiliza a posição dos dados em vez dos seus valores absolutos e baseia-se na comparação entre duas medianas para concluir se as amostras provêm ou não da mesma população (Marôco, 2010). O teste U de Mann-Whitney foi aplicado, com uma confiança de 95%, para averiguar sobre a existência ou não de diferenças entre as amostras de períodos distintos. Este teste foi aplicado recorrendo ao software estatístico SPSS®. Na Tabela 7 apresenta-se os resultados do teste hipótese utilizado.

Tabela 7 – Resultado do teste U de Mann-Whitney.

| Parâmetro | U | <i>p-value</i> |
|------------------|----------|-----------------------|
| 2016 | 3538,0 | 0,065 |
| 2017 | 2669,5 | 0,111 |

A análise através de teste estatístico U de Mann-Whitney confirma a inexistência de diferenças estatísticas (*p-value* = 0,111 e valor *p-value* = 0,065) entre a série de valores registados com movimento de mercadoria e sem movimento de mercadorias no ano de 2016 e 2017, respetivamente.

De modo a proceder-se à comparação da concentração de PM10 monitorizada na Estação Móvel da APDL e nas estações sob jurisdição da CCDR Norte, nas Figura 22 e 24 apresentam-se as séries de dados diários medidos de PM10, para o ano de 2016 e 2017.

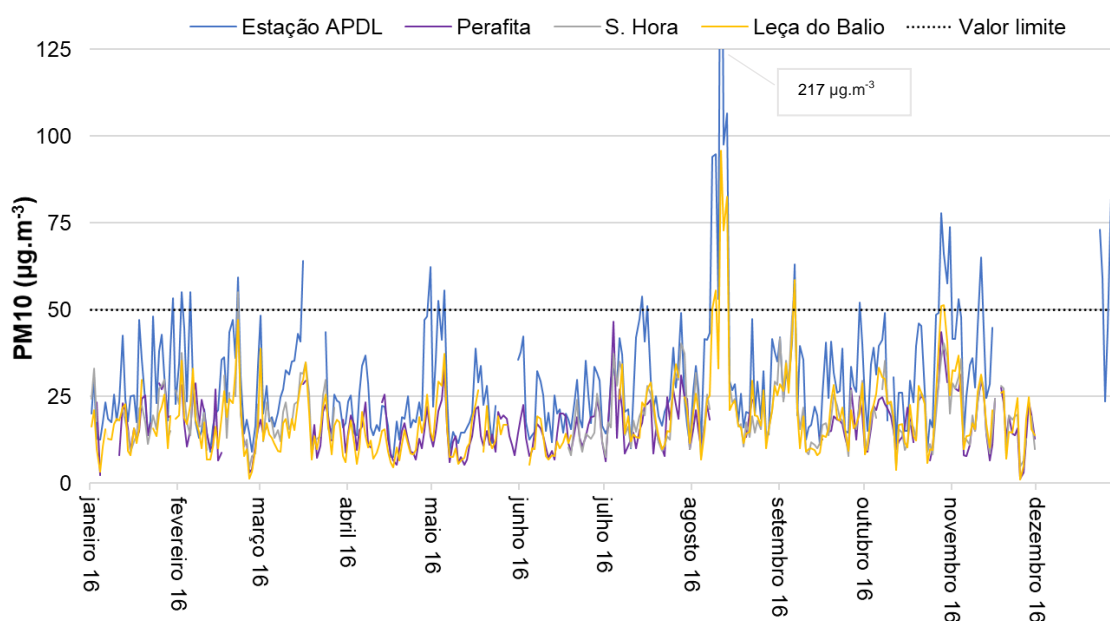


Figura 22 - Concentrações médias diárias de PM10 registadas nas estações de monitorização da qualidade do ar da APDL e da rede de qualidade do ar da CCDR Norte, no ano de 2016.

Analisando a Figura 22 verifica-se que o comportamento anual das concentrações de PM10 registadas nas estações da CCDR Norte é semelhante em todas as estações (Estação de Perafita, Estação São João Gomes Laranjo - S. Hora e Estação da Leça do Balio).

De forma a ser mais rigorosa a análise das diferenças encontradas entre a estação da APDL e as estações sob jurisdição da CCDR Norte, na Tabela 8 apresenta-se um resumo da eficiência, da concentração média anual e do número de excedências ao valor limite diário de PM10, estipulado no DL n.º 102/2010, para o ano de 2016.

Tabela 8 – Eficiência, concentração média anual de PM10 e número de excedências para o ano de 2016.

| Estação Parâmetro | Meco - Perafita | Leça do Balio | João Gomes Laranjo – S. Hora | Estação Móvel da APDL |
|---|--------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Eficiência (%) | 78 | 90 | 69 | 86 |
| Média (µg.m ⁻³) | 17 | 19 | 20 | 31 |
| Excedências ao valor limite diário de PM10 | 0 | 8 | 3 | 31 |
| Percentil 90,4 | 27 | 30 | 31 | 51 |

Analisando a Tabela 8, das estações da CCDR Norte analisadas a Estação Leça do Balio é a que apresenta maior número de excedências ao valor de concentração limite de PM10, no entanto também é a estação que apresenta maior eficiência. Deste modo, é essencial a avaliação do indicador estatístico, o percentil 90,4, que corresponde ao 36º valor mais elevado numa série anual, e que segundo o DL n.º 102/2010, de 23 de setembro, deve ser inferior ao valor limite diário ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$). O percentil 90,4 foi cumprido em todas as estações expeto na Estação Móvel. É de salientar que a concentração média anual de PM10 registada na Estação Móvel da APDL é cerca de 11 a $14 \mu\text{g.m}^{-3}$, ou seja, em média $12 \mu\text{g.m}^{-3}$, superior às estações da CCDR Norte.

A estação de qualidade do ar de Leça de Balio é uma estação de fundo suburbana, sendo por isso expectável que a concentração média anual de partículas e o número de excedências fosse inferior às restantes estações da CCDR Norte analisadas, mas tal não se verifica. Estes resultados podem sugerir que apesar da classificação de fundo suburbana, esta estação sofre influência da área urbana envolvente. Outro dos motivos que poderá explicar este evento será o facto das estações apresentarem diferentes eficiências de aquisição de dados. Relativamente ao percentil 90,4, a estação Leça do Balio também apresenta valores superiores à estação suburbana industrial, Meco – Perafita. Com o intuito de compreender melhor este acontecimento, na Figura 23 encontram-se representadas as excedências registadas nas estações da CCDR Norte em estudo.

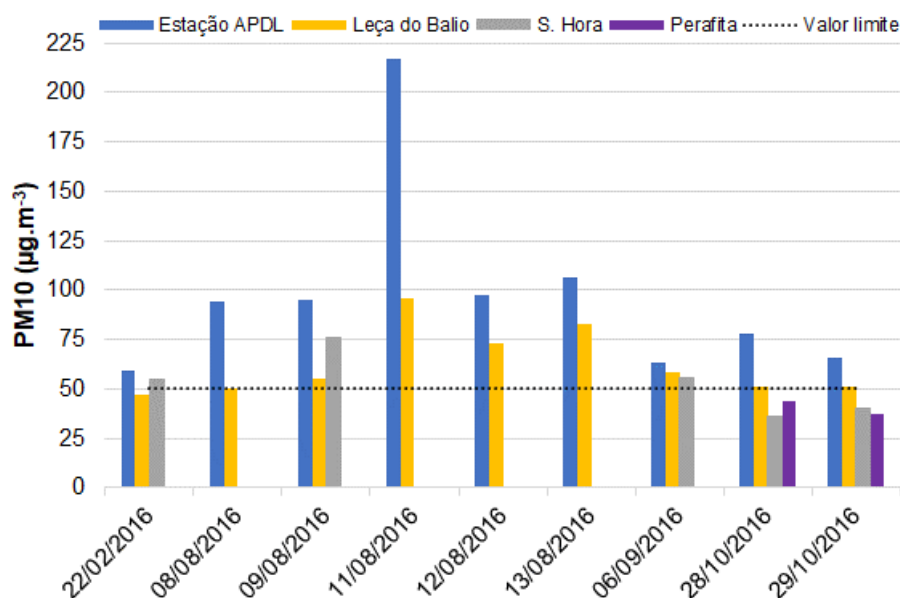


Figura 23 – Períodos em que se registaram excedências ao valor limite nas Estações da CCDR Norte, no ano de 2016.

A diferença entre o número de excedências registadas nas estações da CCDR Norte pode ser explicada pela ausência de monitorização da concentração de PM10 (Figura 23):

- Na Estação da Senhora da Hora, nos dias 8 e 11 de agosto de 2016;
- Na Estação de Perafita, nos dias 22 de fevereiro, 8, 9, 11, 12, 13 de agosto e no dia 6 de setembro de 2016.

Para além disso verifica-se que o diferencial da concentração média diária na Estação Móvel da APDL e nas estações da CCDR Norte nos dias 22 de fevereiro e 6 de setembro de 2016, é inferior ao diferencial médio anual, cerca de 4 e 6 $\mu\text{g.m}^{-3}$, respetivamente. É de salientar que nestes dias ocorreram eventos naturais (Tabela 5) como a intrusão de massas de ar contendo partículas e poeiras em suspensão na atmosfera, com contribuição de 40 - 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ no dia 22 de fevereiro e 20 - 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ no dia 6 de setembro e a ocorrência de incêndios florestais apenas no dia 6 de setembro.

Verifica-se assim que nestes dias a movimentação de mercadoria não teve impacto significativo na concentração média diária, tratando-se ao que tudo indica de um episódio de poluição atmosférica regional.

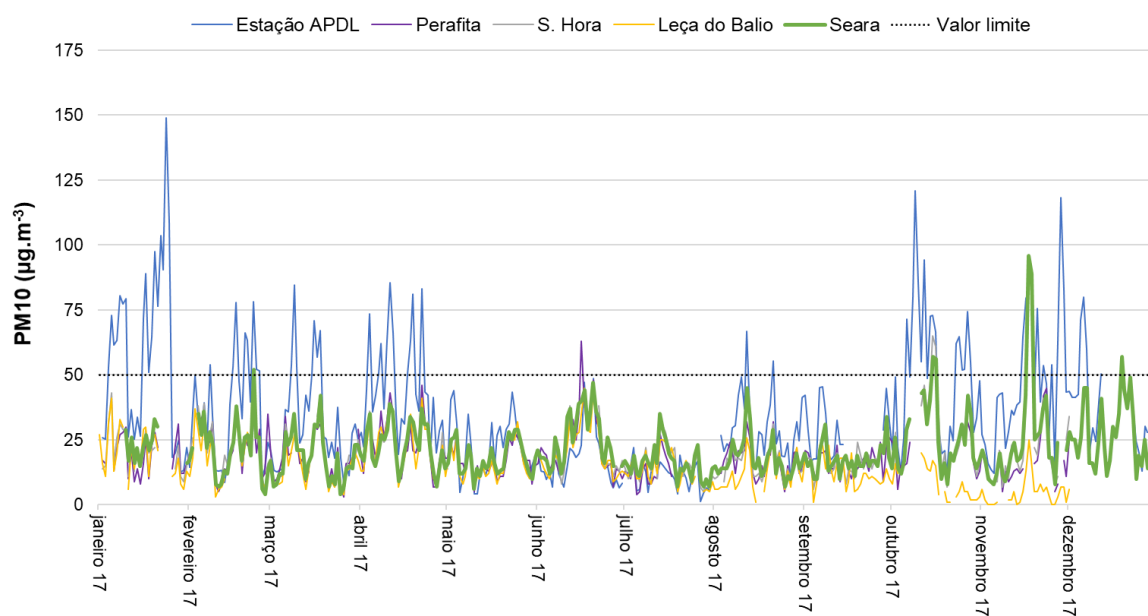


Figura 24 – Concentrações médias diárias de PM10 registadas nas estações de monitorização da qualidade do ar da APDL e da rede da qualidade do ar da CCDR Norte, no ano de 2017.

Pela observação da Figura 24, verifica-se que a Estação Seara – Matosinhos é a que regista concentração de PM10 mais elevada na maioria do ano, exceto no dia 16 de junho e 15 de outubro de 2017, em que se registaram excedências ao valor limite na Estação de Perafita, e na Estação São João Gomes Laranjo – S. Hora, respetivamente. A concentração máxima diária de PM10 em 2017 foi de 96 $\mu\text{g.m}^{-3}$, registada no dia 17 de novembro, na estação urbana industrial Seara – Matosinhos. Relativamente à

estação suburbana de fundo (Leça do Balio) nos meses de novembro e dezembro, as concentrações são significativamente inferiores às restantes estações da CCDR Norte, em média cerca de $21 \mu\text{g.m}^{-3}$.

De forma a melhor identificação das diferenças encontradas entre a estação da APDL e as restantes estações existentes na área envolvente, na Tabela 9 apresenta-se um resumo da eficiência, da concentração média anual e do número de excedências ao valor limite diário de PM10, estipulado no DL n.º 102/2010, para o ano de 2017.

Tabela 9 - Eficiência, concentração média anual de PM10 e número de excedências para o ano de 2017.

| Estação Parâmetro | Seara - Matosinhos | Meco - Perafita | Leça do Balio | João Gomes Laranjo – S. Hora | Estação Móvel da APDL |
|---|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|---|----------------------------------|
| Eficiência (%) | 93 | 86 | 88 | 75 | 92 |
| Média ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | 22 | 19 | 15 | 20 | 35 |
| Excedências ao valor limite diário de PM10 | 6 | 1 | 0 | 3 | 74 |
| Percentil 90,4 | 35 | 31 | 28 | 36 | 73 |

Analisando a Tabela 9, confirma-se que das estações da CCDR Norte analisadas a Estação Seara Matosinhos é a que apresenta maior número de excedências ao valor de concentração limite de PM10, no entanto também é a estação que apresenta maior eficiência. Deste modo, é essencial a avaliação do indicador estatístico, o percentil 90,4, que corresponde ao 36º valor mais elevado numa série anual, e que segundo o DL n.º 102/2010, de 23 de setembro, deve ser inferior ao valor limite diário ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$). O percentil 90,4 foi cumprido em todas as estações expeto na Estação Móvel da APDL. É de salientar que a concentração média anual de PM10 registada na Estação Móvel da APDL é cerca de 13 a $20 \mu\text{g.m}^{-3}$ superior às estações da CCDR.

A título de exemplo apresentam-se na Figura 25 os perfis diários registados na Estação da APDL e nas estações da CCDR Norte, para o ano de 2017. No Anexo II, apresentam-se as concentrações médias diárias de PM10 na Estação Móvel e nas estações da CCDR Norte, Estação do Meco – Perafita, Estação da Leça do Balio e Estação de João Gomes Laranjo – S. Hora, no ano de 2016.

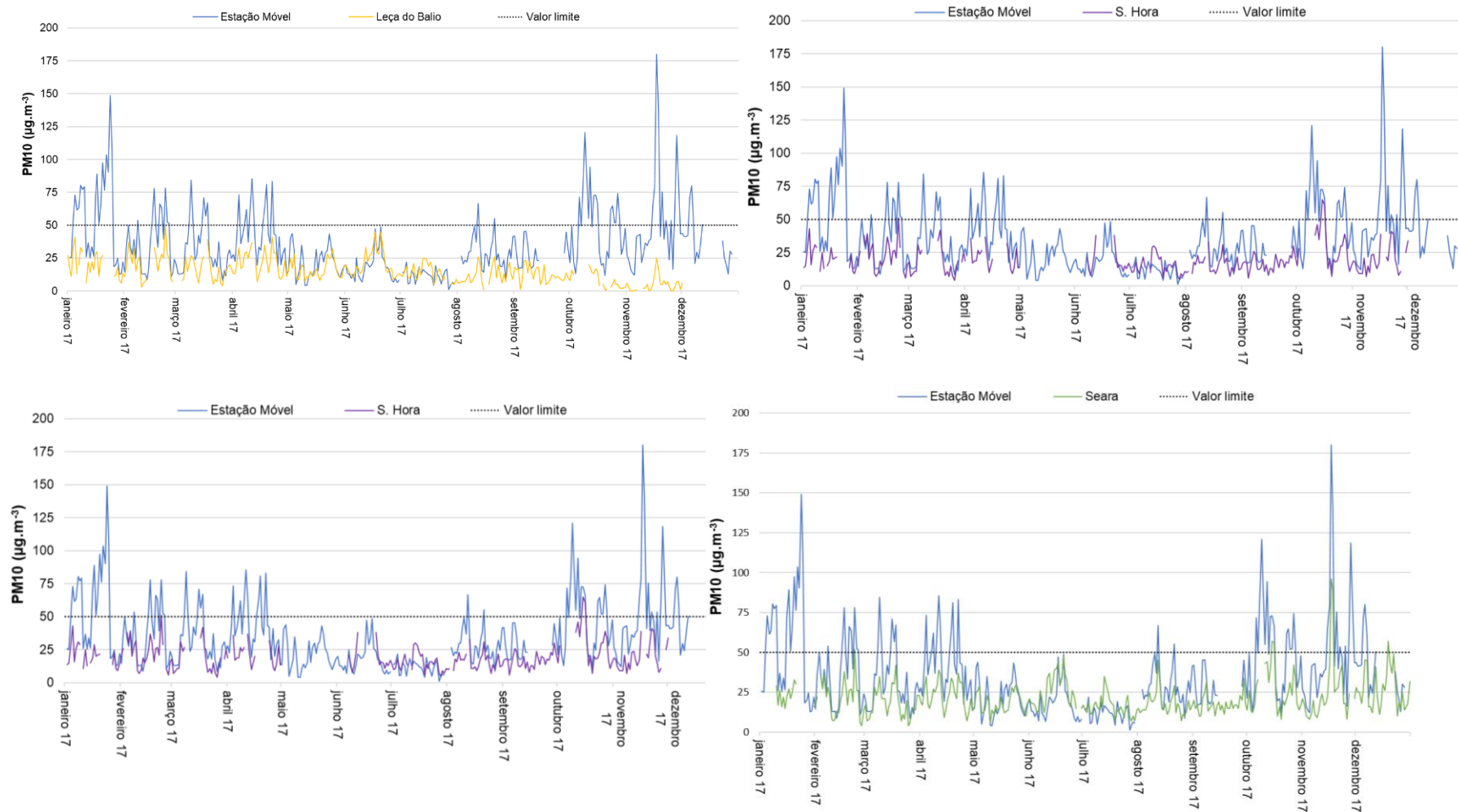


Figura 25 – Concentrações médias diárias registadas no ano de 2017, nas estações da envolvente da APDL e na Estação da APDL.

Para as PM₁₀, a série das concentrações médias diárias de PM₁₀ registada na Estação APDL é distinto do observado nas estações da CCDR Norte, ou seja, a Estação Móvel apresenta níveis mais elevados do que os registados em Perafita, Seara, São João Gomes Laranjo – S. Hora e Leça do Balio, durante a maior parte do ano. Tal facto reflete-se no diferencial de concentrações diárias de PM₁₀ na Estação Móvel e nas estações da CCDR Norte (Figura 25).

Nas Figuras 27 e 28 apresenta-se a média mensal do diferencial diário da concentração de PM₁₀, para o ano de 2016 e 2017, respetivamente.

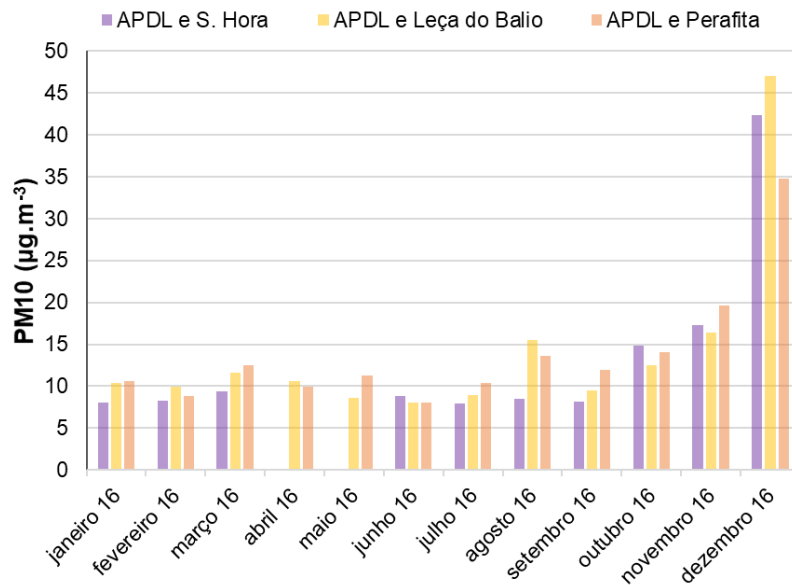


Figura 26 - Distribuição mensal do diferencial entre as médias diárias de PM₁₀ na Estação Móvel e as estações da CCDR Norte, para o ano de 2016.

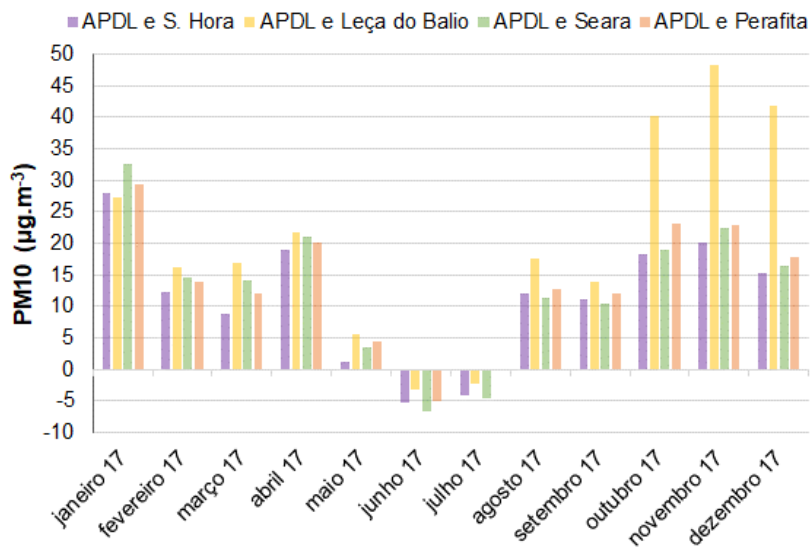


Figura 27 - Distribuição mensal do diferencial entre as médias diárias de PM₁₀ na Estação Móvel e as estações da CCDR Norte, para o ano de 2017.

Analisando as Figura 26 e 28 confirma-se a ocorrência de níveis mais elevados na Estação Móvel em 2016 e na maioria do ano 2017, com exceção dos meses de junho e julho de 2017 em que a concentração média na Estação Móvel é inferior às estações da CCDR Norte.

De forma a melhor identificar as possíveis causas para estes episódios, nas Figura 28 e Figura 29, apresenta-se a quantidade e tipo de mercadoria movimentada em 2016 e 2017, respetivamente. No Anexo III apresentam-se ainda as rosas de ventos mensais obtidas com base nas variáveis meteorológicas monitorizadas, velocidade e direção do vento.

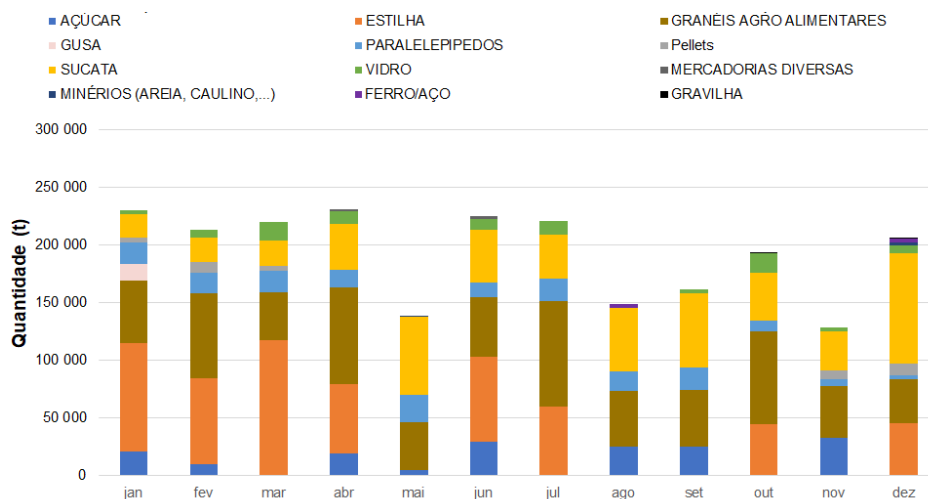


Figura 28 - Tipo e quantidade de mercadoria movimentada em 2016 na APDL.

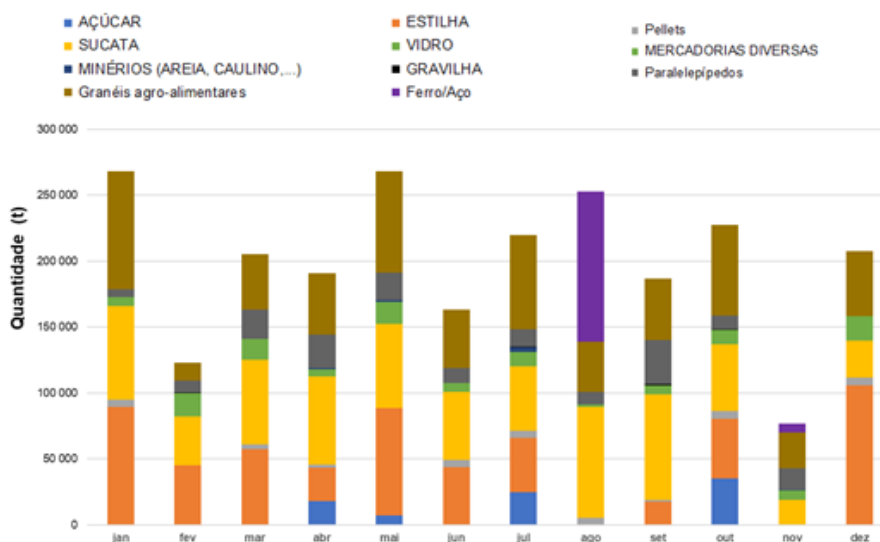


Figura 29 – Tipo e quantidade de mercadoria movimentada em 2017 na APDL.

É de salientar que no mês de dezembro de 2016, a diferença entre a estação Móvel da APDL e as estações sob competência da CCDD Norte apresenta maior diferencial, no entanto tendo em consideração quantidade e tipo de mercadoria, não é possível identificar a causa (Figura 28). No ano de 2017, nos meses de outubro, novembro e dezembro, o diferencial entre as Estação da APDL e a Estação de Perafita é significativamente superior às restantes estações.

Relativamente aos granéis movimentados nos meses de maio, junho e julho de 2017, verifica-se que não existe diferença significativa na quantidade e tipo de mercadoria movimentada durante o ano de 2017 (Figura 29). Para além disso, não é possível correlacionar com as condições meteorológicas, uma vez que os equipamentos de monitorização das variáveis meteorológicas nos meses junho e julho não estiveram em funcionamento (Anexo III).

Uma vez que não é possível identificar as causas para estes episódios (principalmente nos meses de maio a julho de 2017) é aconselhável um estudo mais aprofundado, que incluía outras variáveis, como por exemplo a chegada e partida de navios e o tempo de permanência destes quando atracados. Esta análise deverá recorrer por exemplo à modelação, para se perceber as razões destas diferenças. O sistema de modelação deverá incluir:

- Um modelo meteorológico, que tenha em conta, a topografia e o uso do solo, como *inputs*, para se prever os parâmetros meteorológicos (como por exemplo: velocidade do vento, temperatura, humidade, fluxos de calor, precipitação);
- Um modelo químico de transporte, que tenha como *inputs* as variáveis meteorológicas, as emissões e as condições de fronteira, para que se conheça a dispersão dos poluentes, ou seja, a distribuição espacial da concentração de poluentes.

Com o intuito de avaliar a predominância dos ventos, na Figura 30 são apresentadas as rosas de ventos, para o ano de 2016 e 2017, obtidas com base nos dados meteorológicos monitorizados na estação da APDL.

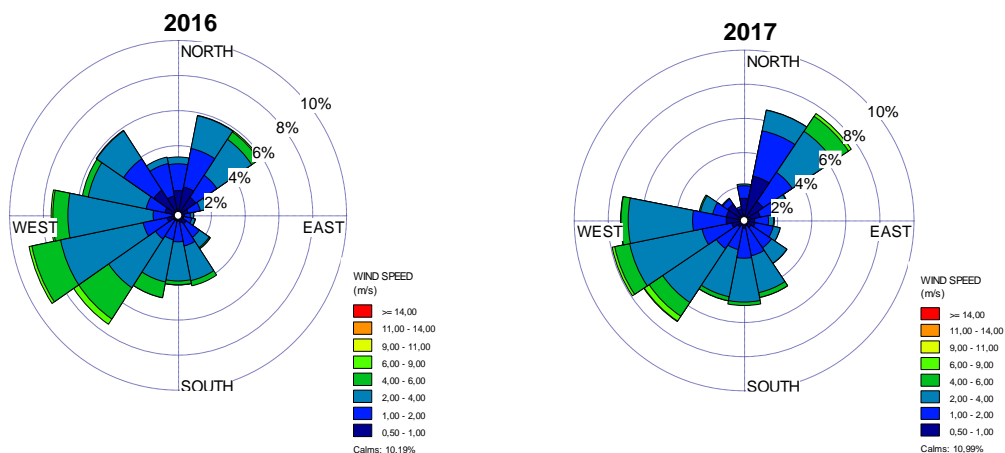


Figura 30 – Rosa de ventos da estação móvel para o período em análise.

De acordo com a Figura 30 verifica-se a predominância de ventos de oeste a sudoeste e de nordeste (apenas no ano 2017). Durante o período em análise, 2016 e 2017, o vento apresentou uma intensidade média de 2,0 m/s e 1,77 m/s, respetivamente.

Segundo o IPMA (2017, 2018), o ano de 2017 foi “extremamente quente e extremamente seco”, enquanto que o ano de 2016 foi “quente relativamente à temperatura do ar e normal quanto à quantidade de precipitação”.

As rosas de poluição para as PM10, para o ano de 2016 e 2017, encontram-se apresentadas no Anexo IV.

Na representação dos dados através das rosas de poluição, as PM10 apresentam uma relativa uniformidade na sua distribuição face à direção do vento, não sendo evidente a existência de influência preponderante associada a ventos provenientes da zona onde se desenvolve a atividade portuária. No entanto, verifica-se que no ano de 2016, a concentração média de PM10, quando ocorrem ventos de nordeste ($42 \mu\text{g.m}^{-3}$), é ligeiramente superior às restantes direções, cerca de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$, tendo em consideração que a concentração média em todos os quadrantes é de $30 \pm 6 \mu\text{g.m}^{-3}$. Esta situação poderá estar associada ao manuseamento de contentores e ao tráfego rodoviário na circular interna do Porto de Leixões e no troço da IC1, a cerca de 600 m da estação da qualidade do ar do Porto de Leixões.

Relativamente ao ano de 2017, observa-se um aumento da contribuição de PM10 em todos as direções. É de salientar que a direção do vento em que se verifica maior concentração média é a Norte, $51 \mu\text{g.m}^{-3}$, sendo a concentração média em todos os quadrantes de $39 \pm 7 \mu\text{g.m}^{-3}$. Esta situação poderá estar associada ao movimento de mercadorias na Doca 2 Sul (sucata e pellets), Doca 4 Norte (granéis agro-alimentares) e na Doca 2 Norte (paralelepípedos, pedras de granito e ferro/aço).

4.4. Gestão de ruído na APDL

Com o objetivo de avaliar o potencial impacto das atividades portuárias no ambiente sonoro, a APDL possui três equipamentos de monitorização de ruído, microfones homologados pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ) junto das principais fontes de ruído, nomeadamente na:

- Doca 2 Norte (D2N);
- Terminal de Contentores Norte (TCN);
- Doca 2 Sul (D2S);

Estes equipamentos de monitorização permitem obter valores horários do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, L_{Aeq} .

Em 2013, a APDL solicitou ao IDAD a avaliação da incomodidade do ruído na população residente na envolvente do Porto. Neste âmbito, surge o Plano de Monitorização do Ambiente Sonoro, este exigiu a definição de limiares de alerta, uma vez que a medição do ruído, devido a dificuldades operacionais, não é realizada junto dos recetores sensíveis, como definido no DL n.º 9/2007 de 17 de janeiro, mas na área sob jurisdição do Porto junto das fontes emissoras.

O DL n.º 9/2007 de 17 de janeiro aprova o Regulamento Geral de Ruído, no qual “estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações”. Este diploma legal aplica-se a todas as atividades ruidosas permanentes ou temporárias e a fontes de ruído que originem incomodidade, e são fixados valores limite de exposição consoante a localização dos recetores sensíveis (população) para o período diurno (das 7h até às 20h), entardecer (das 20h até às 23h) e para o período noturno (das 23h até as 7h).

Para a definição dos limiares de alerta, foram realizadas 2 campanhas de monitorização de ruído em simultâneo, uma junto à fonte de emissão, onde iriam ser colocados os equipamentos para futura avaliação da incomodidade e outra junto dos recetores sensíveis, garantindo que representariam a pior situação de exposição ao ruído (IDAD, 2014). A metodologia adotada pelo IDAD permitiu correlacionar a exposição ao ruído junto aos recetores sensíveis e à fonte, possibilitando a definição de valores de alerta de modo a quando se verificasse incumprimento dos valores limites de exposição nos retores sensíveis fosse possível identificá-los através dos equipamentos de medição de ruído junto à fonte. Apenas foi possível a definição deste critério para a Doca 2 Norte e para o Terminal de Contentores Norte, visto que, durante o período da campanha de monitorização não foi possível correlação com a mercadoria movimentada.

Na figura 31 encontra-se a localização geoespacial dos equipamentos de monitorização do ruído e na tabela 10 encontra-se os limiares de alerta definidos para cada local de monitorização.



Figura 31 - Localização dos locais de monitorização do ruído no interior do Porto de Leixões e na sua envolvente (IDAD, 2014).

Tabela 10 – Limiares de alerta definidos (IDAD, 2014).

| <div>Parâmetro</div> <div>Período</div> | Limiar de alerta (dB(A)) | |
|---|--------------------------|-------------------------------|
| | Doca 2 Norte | Terminal de Contentores Norte |
| Diurno | 76 | 67 |
| Entardecer | 71 | 66 |
| Noturno | 62 | 62 |

Neste momento encontra-se a decorrer uma campanha para rever os limiares de alerta definidos.

Após a definição dos limiares de alerta, mensalmente é elaborado um relatório com o objetivo de avaliar a conformidade destes e de identificação de medidas de mitigação. No relatório mensal é apresentada a localização dos pontos de monitorização do ruído, assim como são identificadas as principais fontes para cada local. Para além disso são apresentados os níveis sonoros relativos aos valores horários de L_{Aeq} e é realizada uma análise comparativa entre o nível de ruído monitorizado e a movimentação de mercadoria a granel, na Doca 2 Norte, e de contentores, no Terminal de Contentores Norte.

Uma das atividades desenvolvidas ao longo do estágio consistiu na elaboração dos relatórios mensais. No subtópico 4.4.1 será apresentada uma análise complementar ao trabalho desenvolvido, nomeadamente uma análise ao segundo semestre de 2017 (agosto a dezembro).

4.4.1. Tratamento e análise de dados

Na Figura 32 apresenta-se os níveis sonoros referentes aos valores horários de L_{Aeq} obtidos na monitorização em contínuo realizada no período de 1 de agosto a 31 de dezembro de 2017 nas Docas D2N e D2S e no Terminal TCN.

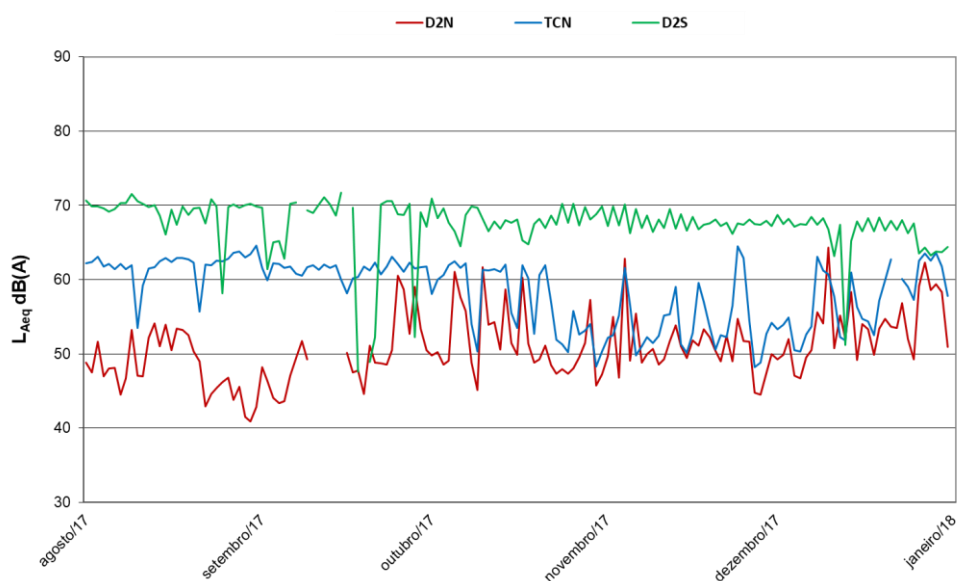


Figura 32 - Valores horários do nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , monitorizados no período de 1 de agosto de 2017 a 31 de dezembro de 2017.

Analisando os níveis de L_{Aeq} medidos nos 3 locais (Figura 32) observa-se que os valores se situaram entre os 38 e 86 dB(A). Constata-se uma elevada amplitude nos níveis de L_{Aeq} medidos, sendo que a D2S apresenta a menor amplitude (35 dB(A)) e a D2N e o TCN apresentam maior 44 e 42 dB(A), respetivamente.

É ainda possível notar que os níveis médios horários na D2S, são mais elevados comparativamente com os níveis medidos nos outros locais. A doca D2N apresenta em média níveis sonoros menores e o TCN apresenta valores médios intermédios.

Com o intuito de avaliar o perfil semanal e o contributo de possíveis fontes externas à área portuária, na Figura 33, apresenta-se os dados horários medidos nos 3 locais de monitorização.

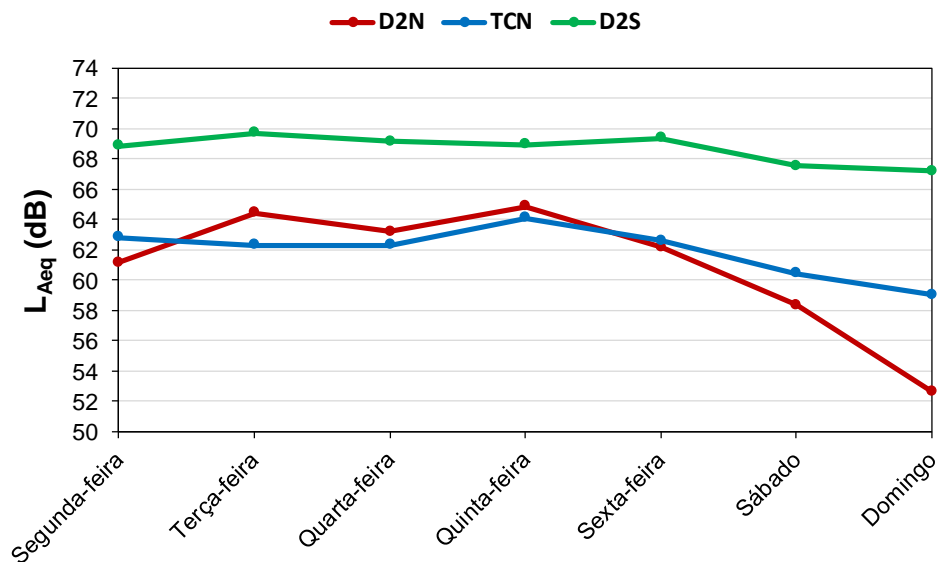


Figura 33 – Perfil semanal nos pontos de monitorização, nas Docas D2N e D2S e no Terminal TCN.

Pela análise da Figura 33 observar-se que, os valores de L_{Aeq} dos perfis semanais situaram-se entre 53 e 70 dB(A). Os valores médios mais elevados foram observados na terça-feira na D2S, na quinta-feira na D2N e no TCN.

Os valores mais baixos de L_{Aeq} , foram observados no fim-de-semana em todos os locais (domingo). A D2N apresenta os menores valores de L_{Aeq} , dos 3 locais de monitorização considerados (domingo).

De acordo com o Porto de Leixões, normalmente ao sábado a movimentação de carga é menor e ao domingo, habitualmente, não há operações. Deste modo e tendo em consideração os resultados, conclui-se que não existe fonte externa ao Porto de Leixões com contribuição significativa.

Com o intuito de avaliar o cumprimento dos níveis sonoros monitorizados na doca D2N e no terminal TCN, é apresentada na Figura 34, o número de excedências aos valores de L_{Aeq} .

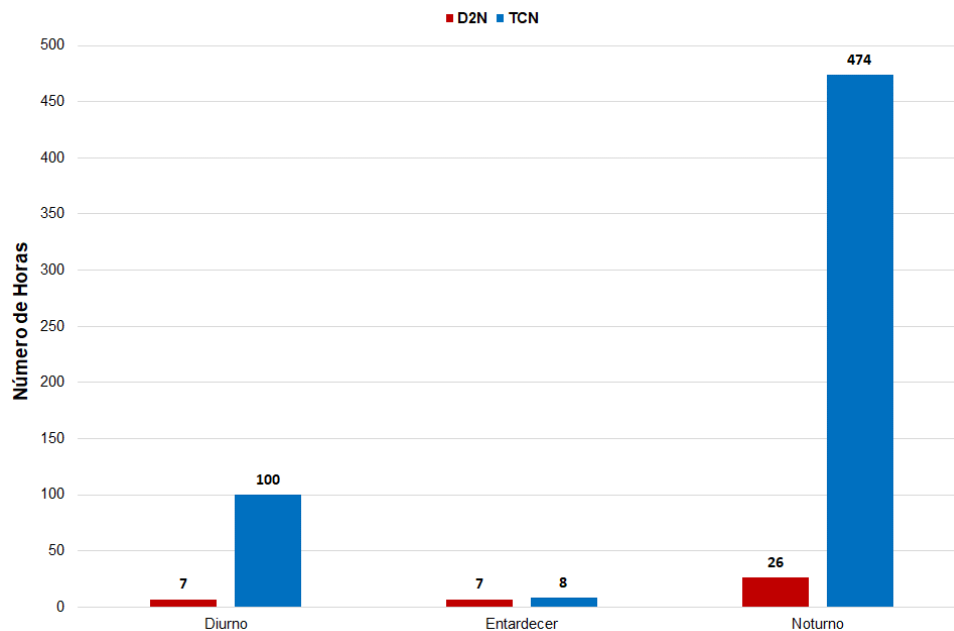


Figura 34 – Número de ultrapassagens aos limiares de alerta para o período em estudo (agosto a dezembro de 2017).

Analisando a Figura 34 verifica-se que ocorreram no total 582 e 40 ultrapassagens aos limiares de alerta no terminal TCN e na doca D2N, respetivamente. A maior diferença entre os locais de medição regista-se no período diurno e noturno, em que o número de excedências é significativamente superior no terminal TCN face a doca D2N. Por outro lado, observa-se que cerca de 65% e 81% das excedências ocorrem no período noturno, na doca D2N e no terminal TCN, respetivamente.

Devido ao facto de o número de excedências no terminal TCN ser significativamente superior a doca D2N e não ser possível uma análise pormenorizada das excedências na doca D2N, uma vez que o movimento de mercadorias se encontra numa base diária. Neste sentido apenas será realizada o estudo do impacto do movimento de contentores no ambiente sonoro.

Tendo em consideração o movimento horário de contentores no terminal TCN, verificou-se que no período em análise (segundo semestre de 2017), cerca de 70% das excedências aos limiares de alerta ocorreram em períodos sem movimentação de contentores. Destas 70% excedências, cerca de 0,98% ocorreram no período diurno, 0,02% no período entardecer e 99% no período noturno.

5. Porto de Aveiro

De forma a avaliar a qualidade do ar na envolvente do Porto de Aveiro é apresentada uma breve caracterização sobre o caso de estudo (subtópico 5.1), seguidamente é realizada uma descrição acerca dos objetivos e procedimentos da monitorização da qualidade do ar e do Plano de Acompanhamento da Monitorização da Qualidade do Ar no Porto de Leixões realizado pelo IDAD (subtópico 5.2) e por fim no subtópico 5.3 é realizada uma avaliação da qualidade do ar e da contribuição das atividades portuárias.

5.1. Caracterização do caso de estudo

A exploração económica, conservação e desenvolvimento do Porto de Aveiro é da responsabilidade da sociedade anónima de capital público, a Administração do Porto de Aveiro S.A. O Porto de Aveiro é a infraestrutura portuária mais recente a nível nacional, e por esta razão é uma área relativamente bem ordenada, integrada e multifuncional (Administração do Porto de Aveiro, 2013).

Localiza-se na Faixa Atlântica da Península Ibérica, no distrito de Aveiro, nomeadamente no município de Ílhavo, na freguesia da Gafanha da Nazaré, onde habita uma população de 14 756 habitantes.

Devido aos acessos rodoviários serem pouco congestionados, (as autoestradas A1, A29 e A25 e a rede de infraestrutura ferroviária existente), este porto é um importante nó de desenvolvimento do Transporte Marítimo de Curta Distância (TMCD) e das Autoestradas Marítimas Europeias (AEM) (Figura 35).

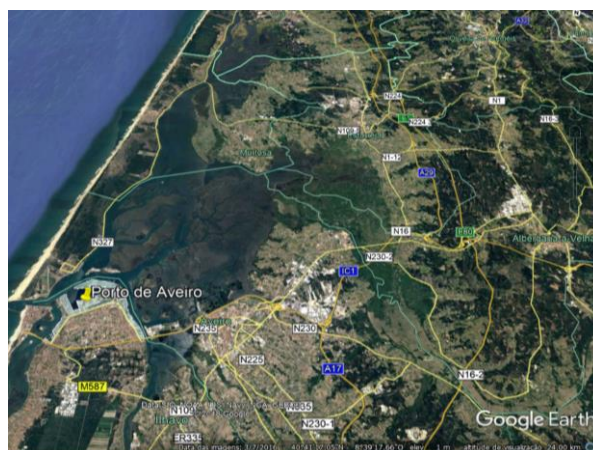


Figura 35 – Enquadramento geoespacial do Porto de Aveiro.

O Porto de Aveiro é constituído por seis terminais para movimentação de mercadoria, o Terminal Norte (TN), Terminal Roll-On/Roll-off e Contentores, o Terminal Sul (TS), o Terminal de Granéis Líquidos (TGL), o Terminal Granéis Sólidos e o Terminal Especializado de Descarga de Pescado (Figura 36).

As principais mercadorias movimentadas são cimento, cereais, pasta de papel, perfilados metálicos, aglomerados de madeira e argilas, no TN, produtos metalúrgicos, cimento, pasta de papel e produtos agro-alimentares no TS, produtos químicos (cloreto de vinilo, anilinas, metanol) e produtos petrolíferos no TGL.

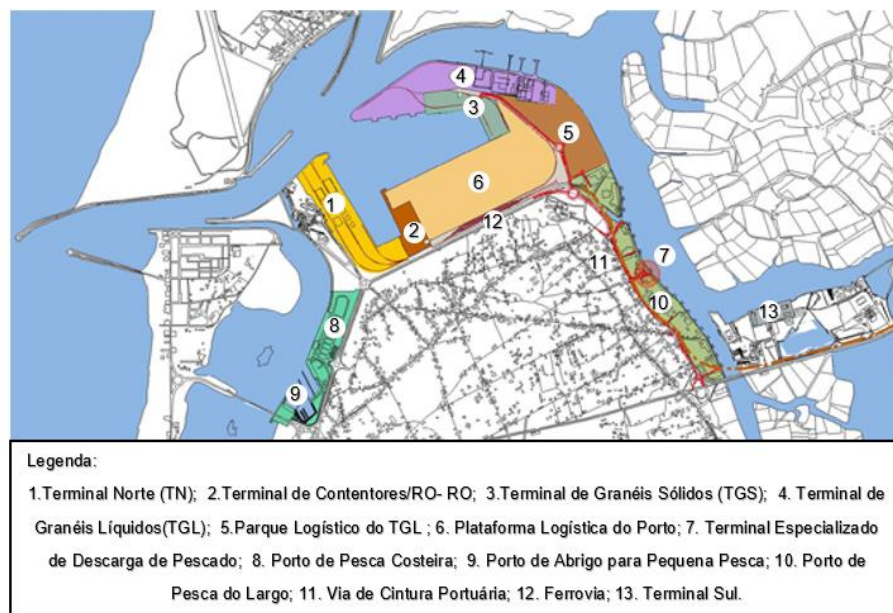


Figura 36 – Instalações do Porto de Aveiro.

De forma a caracterizar o clima nesta região de estudo, na Figura 37 representa-se graficamente as variáveis climatológicas (temperatura e precipitação) para a Região de Aveiro.

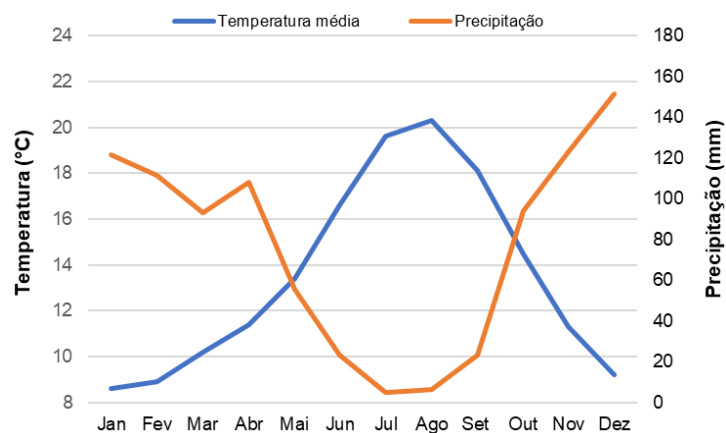


Figura 37 - Temperatura média e precipitação média da Região de Aveiro, referente ao período 1971-2000 (IPMA, 2015).

Em termos climáticos, a Região de Aveiro na qual se insere o Porto de Aveiro, tem uma temperatura média anual de 14°C e pluviosidade média anual de cerca de 916 mm. Por norma e observando a Figura 38, os meses mais secos são julho e agosto, com cerca de 5 e 6 mm de precipitação mensal, respetivamente, enquanto o mês de dezembro é o mês em que se regista maior precipitação média, cerca de 151 mm. Agosto é o mês mais quente do ano, com uma temperatura média de 20,3°C, enquanto janeiro é o mês que apresenta as temperaturas mais baixas, com uma média de 8,6°C (Figura 37).

5.2. Projeto de Monitorização da Qualidade do Ar

A Administração do Porto de Aveiro é uma organização certificada pelo Sistema de Gestão Ambiental (SGA), de acordo com a Norma NP EN ISO 14001. Deste modo, integra no seu plano de gestão a responsabilidade do uso racional e eficiente de recursos, a prevenção da poluição e a minimização ou eliminação dos impactes significativos decorrentes das atividades desenvolvidas (Administração do Porto de Aveiro, 2007).

No âmbito desta certificação e da preocupação da população residente na envolvente do porto face aos níveis de poeiras dentro e ao redor das habitações, a Administração do Porto de Aveiro tem atualmente um plano de monitorização da qualidade do ar, constituído por uma estação móvel de monitorização da qualidade do ar (Sorte et al., 2018), com o objetivo principal de avaliar o potencial contributo das emissões fugitivas de *petcoke*, resultantes do manuseamento no Terminal de Granéis Sólidos.

Na área envolvente ao Porto de Aveiro, nomeadamente a sudoeste, os moradores acusaram elevados níveis de poeiras em redor das habitações, em 2013 (Administração do Porto de Aveiro, 2017; Sorte et al., 2018), que estariam relacionadas com o manuseamento de *petcoke*, nomeadamente a descarga e o armazenamento deste material em pilhas ao ar livre. O *petcoke* é um subproduto granular da refinação do petróleo e é constituído por 90% de carbono elementar e 3 a 6% de enxofre e pode conter metais e/ou compostos orgânicos. Devido à sua dimensão, durante as operações de carga e descarga podem contribuir para a emissão fugitiva de partículas (PM10) (EPA, 2017).

Deste modo com intuito de resolver esta questão, o Porto de Aveiro solicitou a execução de um estudo que a avaliasse a qualidade do ar na envolvente do seu porto, em 2014. Este estudo foi desenvolvido também pelo IDAD em colaboração com o Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, tendo como objetivo a caracterização da qualidade do ar na Gafanha da Nazaré, a avaliação do contributo das atividades portuárias no nível de concentração ambiente de poluentes (PM10, CO, NO_x, NO₂, NO, C₆H₆, O₃, SO₂, PAH e metais pesados), o estudo do comportamento da emissão de partículas fugitivas decorrentes do manuseamento de *petcoke* no porto e identificação de medidas de mitigação. Neste âmbito, foram realizadas 3 campanhas de monitorização da qualidade do ar em localizações distintas

(na Escola Básica 2,3 da Gafanha da Nazaré, Escola Secundária da Gafanha da Nazaré e Estação da qualidade do ar suburbana de fundo da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, CCDR Centro) e recorreu-se à modelação numérica computacional e física (em túnel de vento) do comportamento dos ventos e da dispersão de *petcoke* (IDAD, 2015).

As principais conclusões deste estudo foram:

- A dispersão de *petcoke* para a zona habitacional na envolvente do Porto de Aveiro, quando a direcção do vento se encontra de noroeste, contribui para a concentração de PM no máximo com $9 \mu\text{g.m}^{-3}$ a $19 \mu\text{g.m}^{-3}$, sem qualquer aplicação de medida de minimização;
- O aumento do teor de humidade da pilha de *petcoke* de 1% para 2% e a diminuição da velocidade do vento incidente na pilha reduz cerca de 62% as emissões e a concentrações no ar ambiente;
- A colocação de uma barreira a montante da zona de armazenamento do *petcoke* é a medida mais eficaz na redução da intensidade do vento e consequente emissão de *petcoke*.

À semelhança do Porto de Leixões, também neste caso se realizou a implementação de uma barreira, como medida de mitigação, com base neste estudo. As ferramentas utilizadas para o estudo e identificação de medidas de mitigação, foram a monitorização das concentrações dos poluentes atmosféricos, a utilização de um modelo CFD (Computação da Dinâmica de Fluidos) e a modelação física, especificamente no túnel de vento do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (IDAD, 2015). Enquanto que o Porto de Aveiro optou pela colocação de uma barreira a barlavento, o Porto de Leixões construiu uma barreira de contentores a sotavento. Para além disso, ambos têm implementado soluções de baixo custo, como por exemplo a implementação de zonas verdes e de cortinas arbóreas na interface porto-cidade.

Contrariamente ao Porto de Leixões, a estação de monitorização da qualidade do ar não se encontra na área onde são desenvolvidas as atividades portuárias, mas localiza-se no perímetro da Escola Básica da Gafanha da Nazaré, a cerca de 670 metros do porto, junto aos recetores sensíveis, mais especificamente a sudoeste da zona portuária, numa zona suburbana, com habitações maioritariamente unifamiliares e alguns terrenos agrícolas na envolvente. O enquadramento geoespacial da estação de qualidade do ar encontra-se na Figura 38 e 39 a localização à microescala.

A seleção do local de monitorização da qualidade surge no âmbito do estudo de avaliação da qualidade do ar na envolvente do Porto de Aveiro, em 2014, anteriormente referido. Os critérios utilizados foram o regime de ventos dominantes, neste caso, de norte e nordeste, a segurança do local onde se encontra a estação móvel, a acessibilidade/logística e a energia fornecida não apresentar picos de voltagem, uma vez que os equipamentos de monitorização

são muito sensíveis a esta variável. Assim como foram considerados os critérios de microescala exigidos no DL n.º 102/2010, nomeadamente no ponto C do Anexo IV.



Figura 38 - Localização da estação de monitorização da qualidade do ar do Porto de Aveiro.

A Figura 39 identifica e localiza geograficamente a Estação Móvel do Porto de Aveiro.



Figura 39 – Localização de microescala do local de monitorização da qualidade do ar do Porto de Aveiro (IDAD, 2015).

Esta monitorização é realizada por uma entidade externa, que possui acreditação dos ensaios, permitindo ao Porto de Aveiro conhecer em tempo real as concentrações monitorizadas para os poluentes que pretendem analisar: PM₁₀, PM_{2.5}, C₆H₆, CO, NO_x (NO e NO₂), SO₂ e O₃.

Para além disso, são efetuadas medições dos parâmetros meteorológicos locais, como a velocidade e direção do vento, temperatura e humidade, precipitação, radiação solar e pressão barométrica.

O IDAD é a entidade responsável pelo acompanhamento, controlo de qualidade e tratamento dos dados, desde maio de 2016.

O Plano de Monitorização da Qualidade do Ar no Porto de Aveiro compreende a elaboração de um relatório mensal, onde é realizada a análise dos dados de monitorização relativa às variáveis meteorológicas e aos poluentes monitorizados, com base no DL n.º 102/2010, de 23 de setembro. Posteriormente e à semelhança do que é feito no caso de estudo do Porto de Leixões, é identificada a possível contribuição dos eventos naturais (como os incêndios e a intrusão de poeiras com origem em regiões áridas dos desertos do Norte de África) e dos movimentos de graneis sólidos.

É também avaliado o diferencial das concentrações dos poluentes atmosféricos entre a estação de monitorização da qualidade do ar do Porto de Aveiro e as estações pertencentes à Rede de Monitorização da Qualidade do Ar do Centro, nomeadamente à Aglomeração Aveiro/Ílhavo (estação de Ílhavo, suburbana de fundo, e a Estação de Aveiro, urbana de tráfego). Ainda é determinado o índice de qualidade do ar para as Estações do Porto de Aveiro e procede-se a comparação com índice de qualidade de ar da Aglomeração Aveiro/Ílhavo, disponível no site Qualar (www.qualar.apambiente.pt).

Relativamente às estações da CCDR Centro, a Estação de Aveiro é uma estação urbana de tráfego, localiza-se no centro da cidade de Aveiro, na freguesia da Glória, exatamente no recinto da Escola Secundária José Estevão. A freguesia de Glória, de acordo com os censos de 2011, tem uma densidade populacional de 1 328,7 habitantes por quilómetro quadrado (INE, 2011). É importante salientar, que esta estação se junto a uma das mais movimentadas vias de trânsito da cidade de Aveiro, a Avenida 25 de Abril. Esta estação entrou em funcionamento em 2003 e monitoriza em contínuo os poluentes atmosféricos: CO, PM10, NOx, NO e NO₂ (QualAr, 2018).

A Estação de Ílhavo é uma estação suburbana rural, localiza-se no município de Ílhavo, na freguesia de São Salvador, precisamente no recinto da Escola Básica 2 + 3. A freguesia de São Salvador, de acordo com os censos de 2011, tem uma densidade populacional de 393,6 habitantes por quilómetro quadrado (INE, 2011). Esta estação, também, entrou em funcionamento em 2003 e monitoriza em contínuo os poluentes atmosféricos: O₃, SO₂, PM10, NOx, NO e NO₂ (QualAr, 2018).

Na Figura 40 encontram-se representada a localização das estações de monitorização da qualidade utilizadas na avaliação da qualidade do ar ambiente sob jurisdição da CCDR Centro.



Figura 40 – Localização das estações de monitorização da qualidade do ar pertencentes à Aglomeração Aveiro/Ílhavo.

5.3. Tratamento e análise de dados

Tendo em conta que a monitorização da qualidade do ar, na estação do Porto de Aveiro, se iniciou no dia 18 de maio de 2016, serão apenas analisadas as concentrações de poluentes referentes aos períodos junho a dezembro de 2016 e o ano de 2017.

Na Tabela 11 encontram-se sistematizadas as eficiências de aquisição de dados referentes aos períodos em análise.

Tabela 11 – Eficiência de aquisição referente ao período junho de 2016 a dezembro de 2017 para a Estação do Porto de Aveiro.

| | Parâmetro | PM2.5 | PM10 | NO ₂ | NO _x | CO | SO ₂ | O ₃ | C ₆ H ₆ |
|---------------------------------|----------------------------------|-------|------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|----------------|-------------------------------|
| Junho a dezembro de 2016 | Eficiência de aquisição de dados | 98% | 99% | 98% | 98% | 99% | 99% | 99% | 96% |
| Ano de 2017 | Eficiência de aquisição de dados | 99% | 99% | 99% | 99% | 99% | 98% | 99% | 98% |

Como se pode observar na Tabela 11, a Estação do Porto de Aveiro apresentou em 2016 e 2017 uma eficiência de recolha de dados superior a 96%, garantindo uma elevada representatividade temporal dos dados. Considerou-se que em 2016 o período de monitorização abrangeu apenas 214 dias (58% do ano de 2016).

Seguidamente são apresentadas e discutidos os valores de concentrações medidos para cada um dos poluentes durante os períodos de estudo referidos.

5.3.1. Análise das concentrações de poluentes medidas

- **Partículas em suspensão: PM10 e PM2.5**

A Figura 41 apresenta as concentrações médias diárias do poluente PM10 monitorizadas na Estação do Porto de Aveiro.

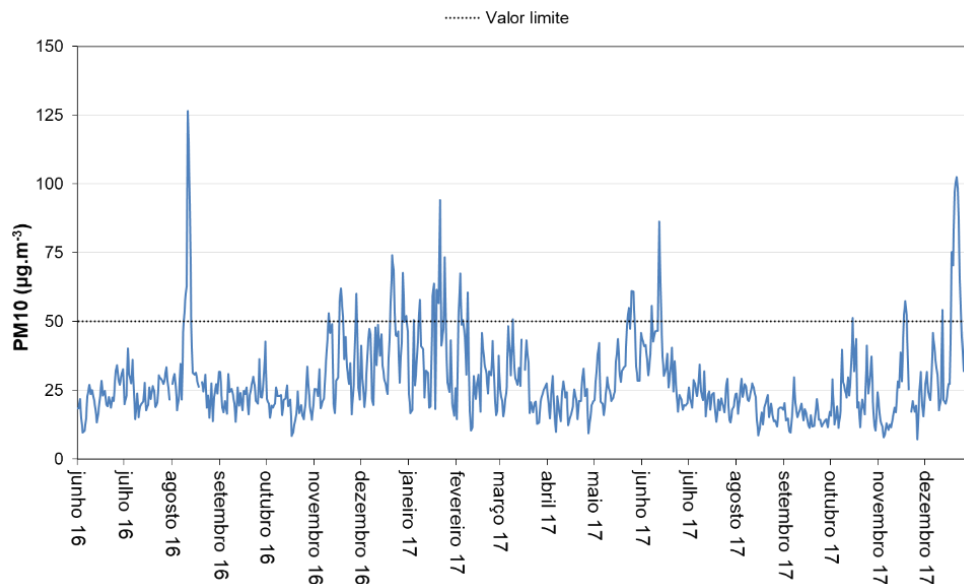


Figura 41 – Concentrações médias diárias de PM10 monitorizadas no Porto de Aveiro, para o período estudado (junho 2016 – dezembro 2017) .

De modo a melhor compreender a origem dos episódios de PM10 registados nesta estação, na Tabela 12 listam-se os dias em que se verificaram excedências ao valor limite ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$), assim como a identificação de eventos naturais (poeiras com origem nos desertos do Norte de África, e a ocorrência de incêndios florestais).

Tabela 12 – Períodos com ultrapassagem do valor limite diário de PM10 na estação do Porto de Aveiro durante junho 2016 a dezembro de 2017.

| Data | Concentração média diária de PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Previsão da contribuição das poeiras do Norte África | Incêndios florestais - Distrito do Aveiro |
|------------|--|--|---|
| 09-08-2016 | 58 | 10 - 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | - |
| 10-08-2016 | 63 | 40 - 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | Sim |
| 11-08-2016 | 127 | 10 - 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | Sim |
| 12-08-2016 | 93 | 10 - 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | - |
| 10-11-2016 | 53 | - | - |
| 17-11-2016 | 57 | - | - |
| 18-11-2016 | 62 | - | - |
| 19-11-2016 | 52 | - | - |
| 28-11-2016 | 60 | - | - |
| 20-12-2016 | 58 | - | - |
| 21-12-2016 | 74 | - | - |
| 22-12-2016 | 69 | - | - |
| 28-12-2016 | 68 | - | - |
| 30-12-2016 | 52 | - | - |
| 04-01-2017 | 51 | 40 - 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | - |
| 08-01-2017 | 58 | - | - |
| 16-01-2017 | 59 | - | - |
| 17-01-2017 | 64 | - | - |
| 19-01-2017 | 62 | - | - |
| 20-01-2017 | 57 | - | - |
| 21-01-2017 | 94 | - | - |
| 24-01-2017 | 73 | - | - |
| 03-02-2017 | 67 | - | - |
| 05-02-2017 | 51 | - | - |
| 08-02-2017 | 61 | - | - |
| 09-03-2017 | 51 | - | - |
| 23-05-2017 | 55 | - | - |
| 25-05-2017 | 61 | - | - |
| 26-05-2017 | 61 | - | - |
| 07-06-2017 | 56 | - | - |
| 12-06-2017 | 86 | - | - |
| 13-06-2017 | 53 | - | - |
| 15-10-2017 | 51 | - | Sim |
| 17-11-2017 | 53 | - | - |
| 18-11-2017 | 58 | - | - |
| 19-11-2017 | 52 | - | - |
| 12-12-2017 | 54 | - | - |
| 18-12-2017 | 75 | - | - |
| 19-12-2017 | 71 | - | - |
| 20-12-2017 | 97 | - | - |
| 21-12-2017 | 103 | - | - |
| 22-12-2017 | 99 | - | - |
| 23-12-2017 | 75 | - | - |
| 24-12-2017 | 55 | - | - |
| 31-12-2017 | 71 | - | - |

Com base na análise da Figura 42 e na Tabela 12, verifica-se que ocorreram 14 e 31 excedências ao valor limite diário, no período em análise, 2016 e 2017, respetivamente. As excedências ao valor limite ocorrem nos meses agosto, novembro e dezembro de 2016 e nos meses de janeiro, fevereiro,

março, maio, junho, outubro, novembro e dezembro de 2017. Das 14 excedências registadas no ano de 2016, 4 ocorreram em períodos com potencial influência de fontes naturais, cerca de 29%. Relativamente as excedências verificadas no ano de 2017, 2 (cerca de 6% das excedências) ocorreram em dias com potencial influência de fontes naturais.

Tendo em consideração o DL n.º 102/2010, o valor limite diário para a proteção da saúde, de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$, não deve exceder mais de 35 vezes em cada ano civil, confirmando-se o cumprimento durante o ano de 2017. No entanto é crucial a avaliação do percentil 90,4 referido no diploma, como devendo ser inferior a $50 \mu\text{g.m}^{-3}$, para o ano de 2016, uma vez que a monitorização corresponde apenas a 58% do ano. Na Tabela 13 apresenta-se o percentil 90,4 para ambos os períodos em análise, bem como a concentração média anual medida em 2017.

Tabela 13 – Concentração média e percentil 90,4 para o ano de 2016 e 2017.

| Parâmetro \ Período | Junho a dezembro de 2016 | Ano 2017 |
|---|---------------------------------|-----------------|
| Média ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | - | 28 |
| Percentil 90,4 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | 54 | 48 |

Através da análise da Tabela 13 confirma-se o incumprimento do parâmetro estatístico, percentil 90,4, em 2016, no ano de 2017 era indispensável o cálculo deste parâmetro estatístico, uma vez que apresenta elevada eficiência de aquisição de dados. Relativamente ao valor médio anual de 2017, $28 \mu\text{g.m}^{-3}$ confirma-se que é inferior ao valor limite anual, $40 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Nas Figura 42 e 43, apresenta-se o perfil das concentrações médias horárias das PM₁₀, para cada mês do período em estudo.

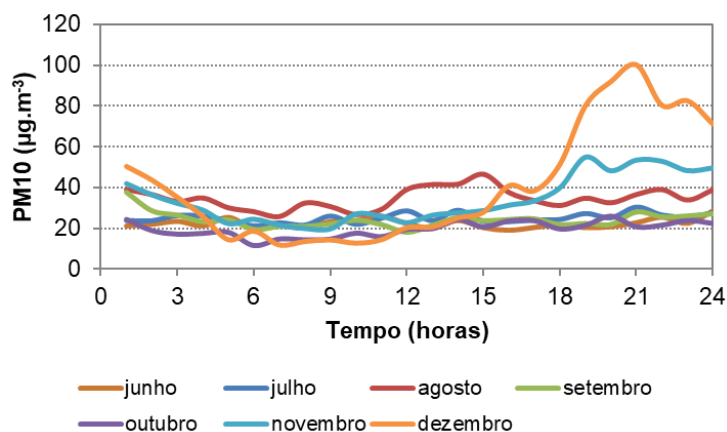


Figura 42 – Perfil médio diário das concentrações de PM₁₀ para os meses em estudo do ano de 2016.

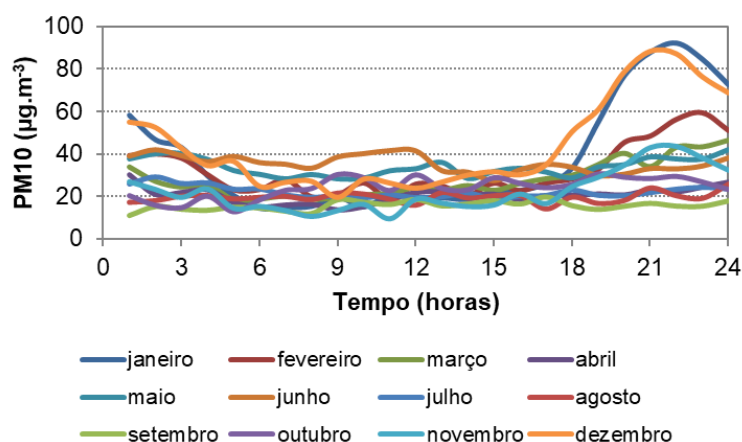


Figura 43 – Perfil médio diário das concentrações de PM10 para cada mês do ano de 2017.

Analisando as Figuras 42 e 43, confirma-se uma elevada concordância dos perfis médios diários nos vários meses monitorizados, com exceção de:

- Agosto (com níveis mais elevados entre as 11 e as 17h), e dezembro (com níveis médios significativamente mais elevados no período noturno, após as 18h).
- Dezembro e janeiro de 2017 (com níveis médios significativamente mais elevados no período noturno, após as 18h).

Para estas situações, salienta-se a influência do tráfego rodoviário, uma vez que o Porto de Aveiro se localiza próximo da praia da Barra, e apresenta elevada afluência na época de verão, registados em agosto de 2016; e do aumento da combustão residencial no período de inverno (dezembro de 2016 e 2017 e janeiro de 2017), com temperaturas médias mais baixas, associadas a fracas condições de dispersão.

A título de exemplo, na Figura 44 é apresentada a análise mensal da contribuição do manuseamento de mercadoria, na área portuária, nas concentrações médias horárias de PM10, para o mês de agosto de 2017.

Para avaliar a contribuição da carga e descarga de mercadorias na concentração de PM10, o IDAD definiu um intervalo de direção de vento que delimita a principal área onde se desenvolvem a atividade portuária, ou seja, o intervalo compreendido entre 280° e os 350°. Estes quadrantes corresponde à direção de vento que tem maior impacto na dispersão de partículas com origem na atividade portuária.

Deste modo, graficamente as concentrações de PM10 registadas com o vento entre 280° e os 350° são destacados a azul escuro – “PM10 (a)” e nos intervalos horários em que a direção não coincide com o intervalo referido são representados a azul claro – “PM10 (b)” (Figura 45).

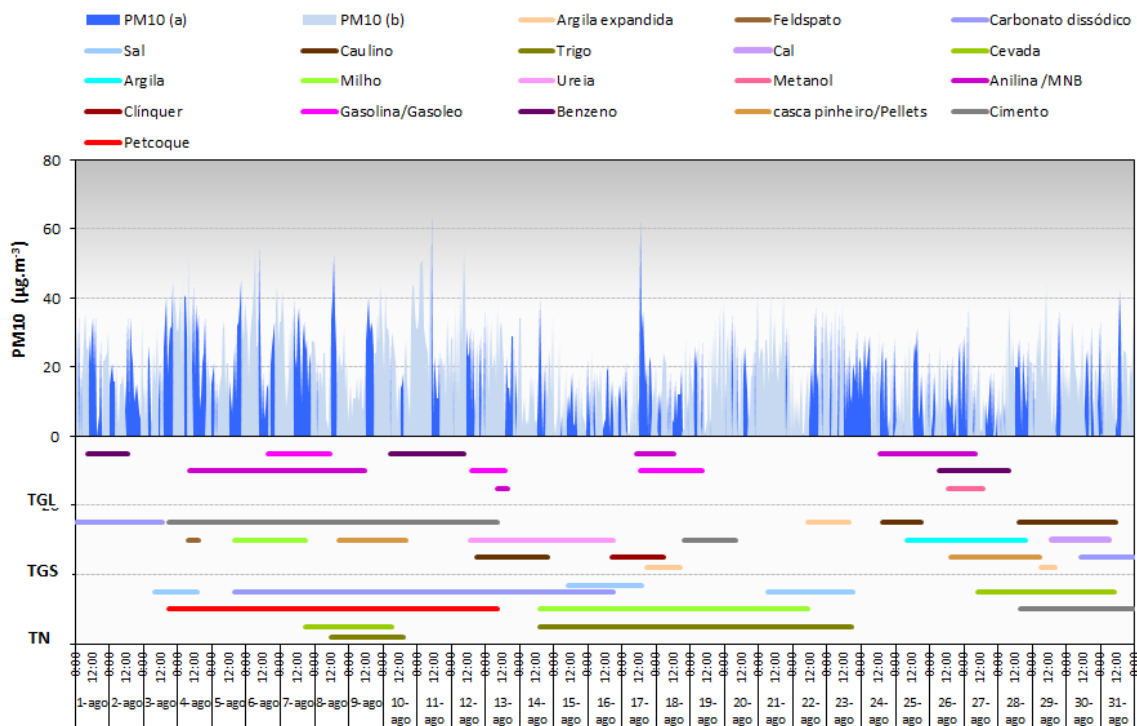


Figura 44 - Distribuição temporal do movimento de granéis e concentração de PM10 durante a campanha de monitorização.

Pela análise da Figura 44, confirma-se que, durante o período monitorizado, 41% dos períodos horários apresentam direção do vento proveniente da área onde se desenvolve a atividade portuária. No entanto, a concentração média de PM10 no intervalo com direção do vento entre 280° e os 350° (19 $\mu\text{g.m}^{-3}$) é semelhante à registada com as restantes direções do vento (20 $\mu\text{g.m}^{-3}$). Durante a descarga de *petcoke*, 3 a 13 de agosto de 2017, a concentração média de PM10, neste período, no intervalo com direção do vento entre 280° e os 350° (26 $\mu\text{g.m}^{-3}$) é semelhante à registada com as restantes direções do vento (25 $\mu\text{g.m}^{-3}$).

Há, no entanto, a salientar que no dia em que se registou o valor horário mais elevado de PM10 (17 de agosto de 2017), a direção do vento esteve dentro da gama 280° e 350° (principal área onde se desenvolve a atividade portuária).

Para avaliar a distribuição temporal das concentrações e identificação de eventual contribuição da atividade portuária, na Figura 45 representa-se o perfil médio horário das concentrações de PM10, coincidentes com a direção do vento entre 280° e os 350°, e fora do intervalo onde se desenvolve a atividade portuária, para o período em estudo (junho de 2016 a dezembro de 2017).

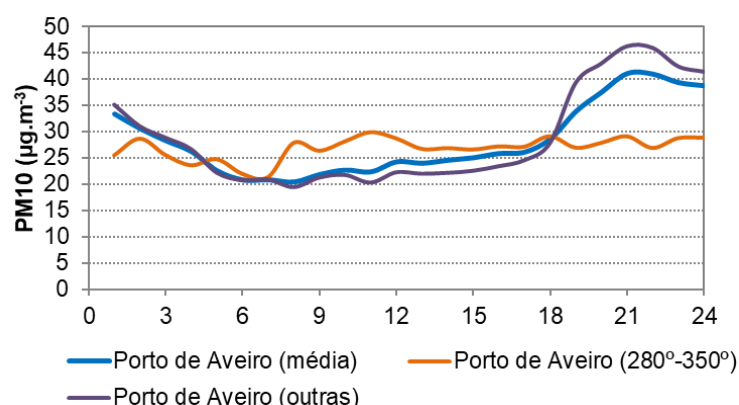


Figura 45 - Perfil médio diário das concentrações de PM10, no período em estudo (junho 2016 a dezembro de 2017).

O perfil médio com a direção do vento fora da zona onde se encontra a atividade portuária (Porto de Aveiro – outras) revela um padrão de variação semelhante ao registado na globalidade dos períodos de medição (Porto de Aveiro média). Neste caso destaca-se a ocorrência de concentrações mais elevadas a partir do final da tarde e durante o período noturno.

O perfil determinado apenas com os registos coincidentes com a direção do vento entre os 280° e os 350° apresenta um padrão distinto, com valores inferiores no período entre as 19 e as 4h. Relativamente ao intervalo entre as 7 e as 17h observa-se um diferencial médio de 6 $\mu\text{g.m}^{-3}$, variando entre 3 a 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$, podendo neste caso tratar-se do impacto das fontes a noroeste do ponto de medição onde se inclui a área Portuária.

Na Tabela 14 apresenta-se a concentração média e mediana de PM10, para o ano de 2017.

Tabela 14 – Concentração média de PM10 em função da direção do vento.

| Série de dados | Média | Mediana | % da amostra |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| | PM10 (P1) $\mu\text{g.m}^{-3}$ | PM10 (P1) $\mu\text{g.m}^{-3}$ | |
| (280° - 350°) | 26,9 | 23,0 | 28% |
| Restantes direções | 28,5 | 22,0 | 72% |
| Todas direções | 28,1 | 22,0 | 100% |

Pela análise da Tabela 14, observa-se que a mediana de PM10 coincidente com a atividade portuária (280° - 350°) é semelhante às restantes direções de vento, apenas se verifica a diferença de 1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ no ano de 2017. Para além disso verificou-se que as concentrações mais elevadas de PM10 ocorrem em períodos coincidentes com a movimentação de mercadoria. Relativamente à concentração média de PM10 em 2017 na direção de vento coincidente com movimentação de mercadoria registou-se cerca de 27 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e nas restantes direções cerca de 28,5 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Na Figura 46 representa-se graficamente as médias diárias das concentrações de PM2.5 monitorizadas.

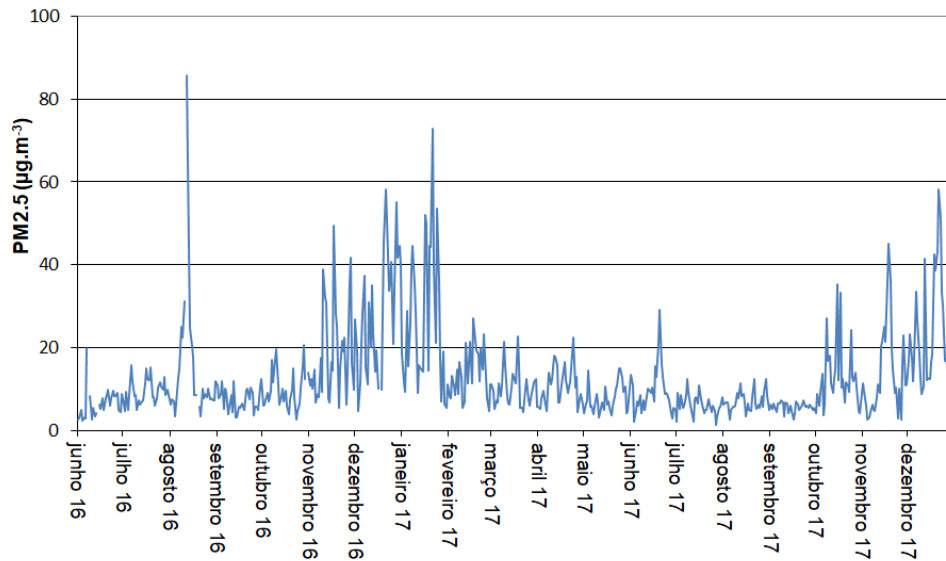


Figura 46 - Concentrações médias diárias das PM2.5 monitorizadas no Porto de Aveiro.

Relativamente aos níveis de PM2.5 (Figura 46), o valor médio registado durante o período de amostragem, foi de 15 e 12 $\mu\text{g.m}^{-3}$, para o período de monitorização de 2016 e 2017, respetivamente, confirmando-se o cumprimento do valor limite anual para a proteção da saúde humana definido na legislação (25 $\mu\text{g.m}^{-3}$). A razão entre a média de PM2.5 e de PM10 é de 52% e 42%, para o ano de 2016 e 2017, respetivamente, refletindo deste modo uma contribuição importante das partículas com diâmetro inferior a 2.5 μm no teor de PM10, no entanto inferior à média urbana (Monteiro *et al.*, 2007).

Na Figura 47 e 48, apresenta-se o perfil médias diário de PM10, para cada mês, para 2016 e 2017, respetivamente.

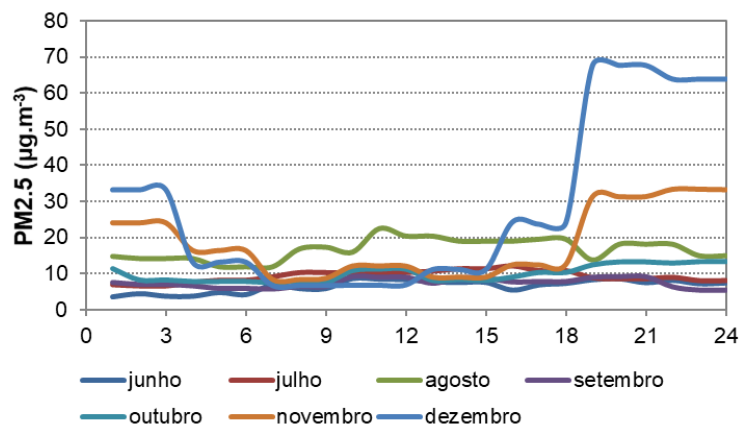


Figura 47 - Perfil médio diário das concentrações de PM2.5 para os meses em estudo do ano de 2016.

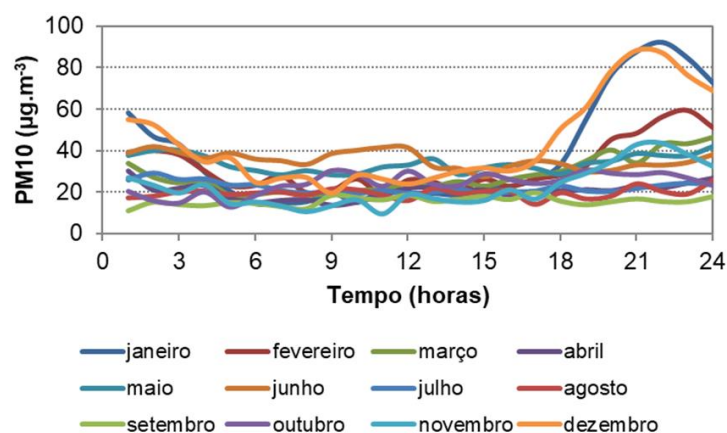


Figura 48 - Perfil médio diário das concentrações de PM2.5 para cada mês do ano de 2017.

Tal como as PM10, confirma-se uma elevada concordância nos níveis médios nos vários meses monitorizados, com exceção de: agosto (com níveis mais elevados entre as 6 e as 18h), dezembro de 2016 (com níveis médios significativamente mais elevados no período noturno, após as 18h); dezembro e janeiro de 2017 (com níveis médios significativamente mais elevados no período noturno, após as 18h). A justificação para estas diferenças é a mesma apresentada para as PM10, o tráfego rodoviário e a combustão residencial.

- **Monóxido de Carbono: CO**

Na Figura 49 representa-se graficamente a concentração média horária e octo-horária de CO monitorizadas na estação do Porto de Aveiro para o período de junho de 2016 a dezembro de 2017.

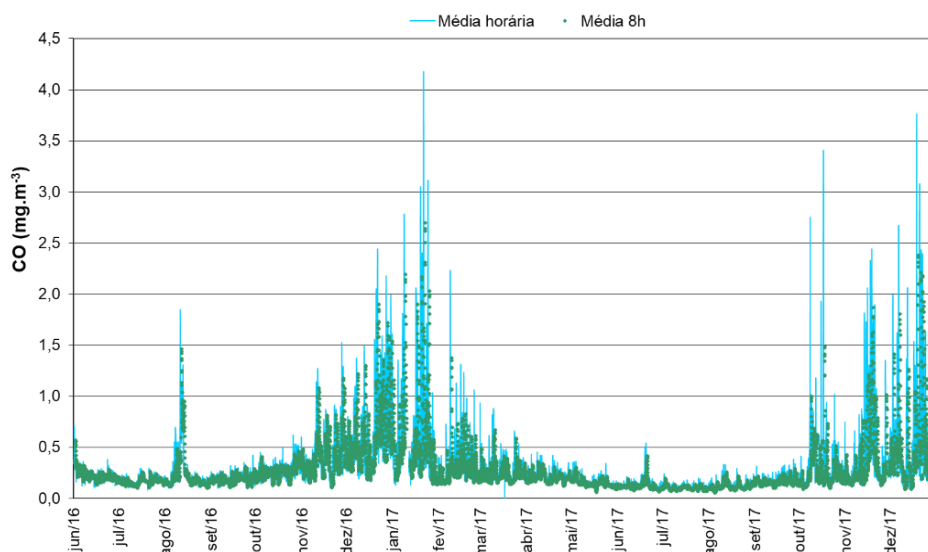


Figura 49 – Concentrações médias horárias e octo-horárias de CO monitorizadas no Porto de Aveiro.

Ao longo do período de estudo, observam-se períodos com níveis de CO mais elevados nomeadamente nos meses em que se registaram incêndios florestais (agosto de 2016, junho de 2017); nos meses de inverno, precisamente em novembro e dezembro de 2016 e em janeiro, outubro e dezembro de 2017.

O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro, que resulta da combustão incompleta de combustíveis fósseis, biocombustíveis e da combustão residencial (EEA, 2017). Devido à localização da estação de monitorização ser em ambiente suburbano, a contribuição de incêndios e da queima residencial durante a estação de inverno são os principais fatores pelos níveis de CO elevados registados nestes meses.

- **Óxidos de azoto: NO e NO₂**

Na Figura 50 representa-se graficamente as concentrações horárias de NO e NO₂ monitorizadas na estação do Porto de Aveiro.

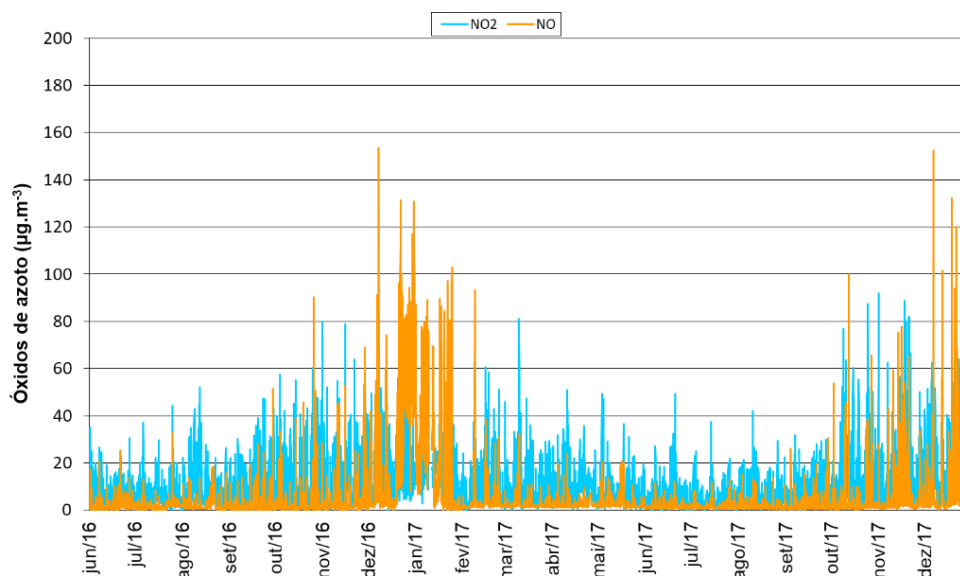


Figura 50 - Concentrações médias horárias de NO e NO₂ monitorizadas no Porto de Aveiro.

O DL n.º 102/2018 estabelece para o NO₂ um valor limite horário (200 µg.m⁻³) e um valor limite anual (40 µg.m⁻³). Pela observação da série de dados de concentrações verifica-se que não ocorreram excedências ao valor limite horário no período de monitorização.

A concentração média anual para o período em estudo de NO₂, em 2017 foi de 11 µg.m⁻³, confirmando-se o cumprimento da legislação em vigor. Os teores de NO₂ são globalmente superiores aos de NO, traduzindo uma maior influência de fontes mais afastadas do local de

amostragem comparativamente com as fontes mais próximas. Em alguns períodos horários registam-se valores mais elevados de NO, nomeadamente em dezembro de 2016 e 2017 e início de janeiro de 2017. Durante os meses de dezembro de 2016 e janeiro, novembro e dezembro de 2017 o perfil de variação do NO muda de forma significativa, passando a registar valores mais elevados de forma mais contínua, refletindo o impacto de fontes de emissão mais próximas do ponto de medição (Figura 50), nomeadamente o tráfego rodoviário e a queima residencial.

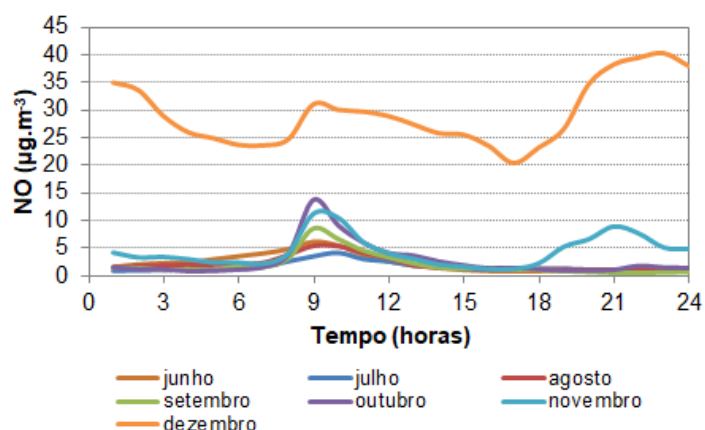


Figura 51 - Perfil médio diário das concentrações horária de NO para cada mês, em estudo, do ano de 2016.

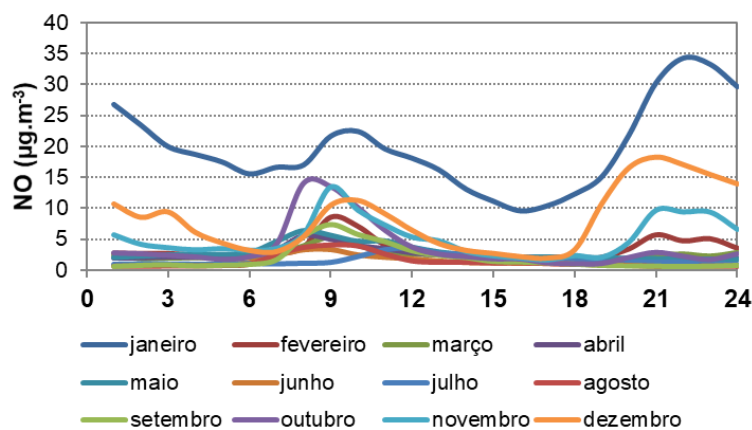


Figura 52 - Perfil médio diário das concentrações horária de NO para cada mês do ano de 2017.

Analisando as Figuras 51 e 52, confirma-se uma elevada concordância dos perfis médios diários nos vários meses monitorizados, com exceção de dezembro de 2016 e janeiro de 2017. Os valores de NO mais elevados são registados principalmente no período da manhã, entre as 8 e as 10h, que poderá estar associado ao tráfego automóvel.

- **Dióxido de enxofre: SO₂**

Na Figura 53 representa-se graficamente as concentrações horárias de SO₂ monitorizadas na estação do Porto de Aveiro.

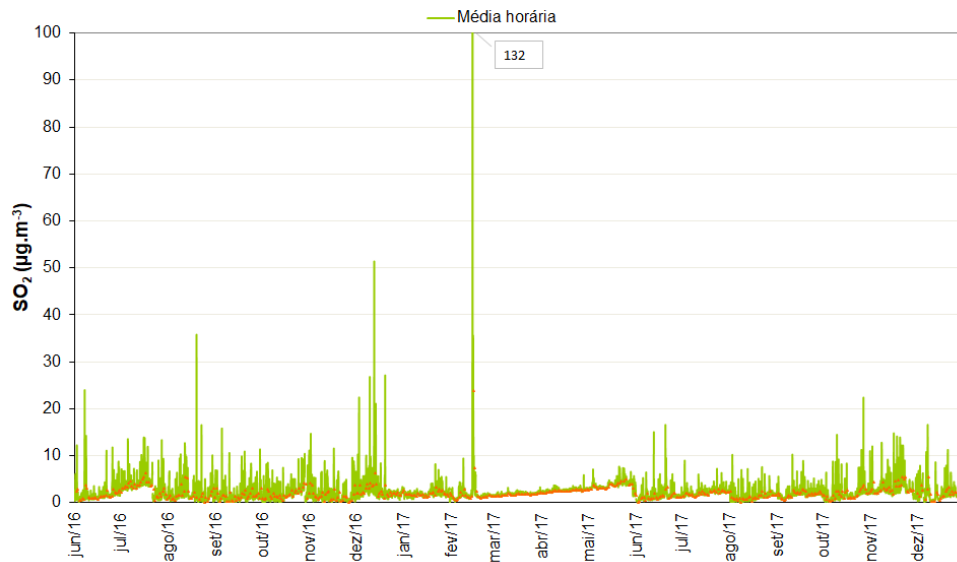


Figura 53 - Concentrações médias horárias e diárias de SO₂ monitorizadas no Porto de Aveiro.

O DL n.º 102/2018 estabelece para o SO₂ um valor limite horário (350 µg.m⁻³) e um valor limite anual (125 µg.m⁻³). Pela observação da série de dados de concentrações verifica-se que não ocorreram excedências ao valor limite horário no período de monitorização. É de salientar as concentrações elevadas medidas no dia 14 de fevereiro de 2017, que atingiram um valor máximo horário de 132 µg.m⁻³, com direção do vento maioritariamente proveniente de sudeste, apontando deste modo para a eventual contribuição de outras fontes de emissão que não portuárias.

A combustão industrial, o transporte aéreo e o transporte marítimo são atualmente algumas das principais fontes de emissão de SO₂ (Russo *et al.*, 2018), especialmente quando se verifica utilização de combustíveis com elevados teores de enxofre.

- **Ozono: O₃**

Na Figura 54 e 55 representa-se graficamente as concentrações horárias e as concentrações octo-horárias de O₃ monitorizadas na estação do Porto de Aveiro, respetivamente.

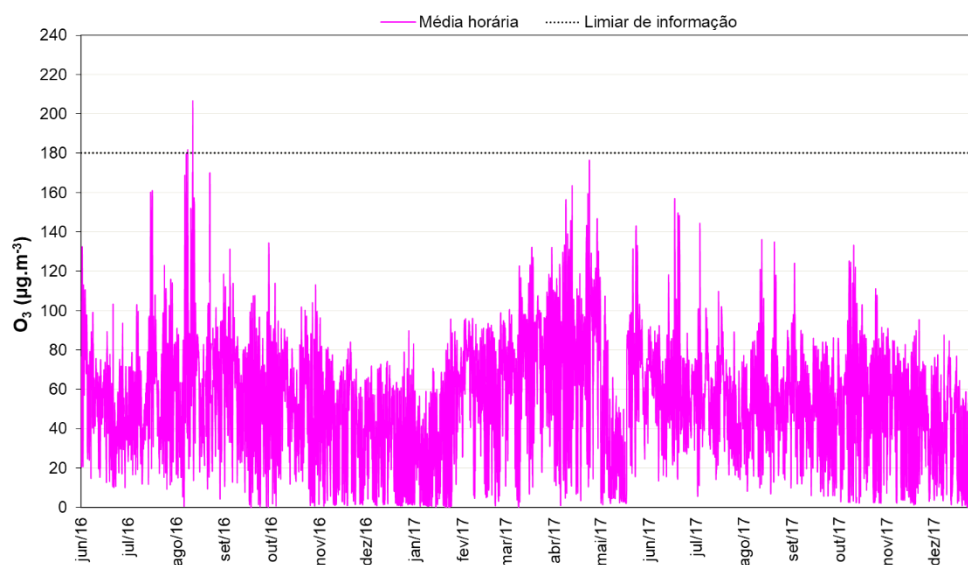


Figura 54 - Concentrações médias horárias de O₃ monitorizadas no Porto de Aveiro.

Comparando a série concentrações horárias com os valores legislados para o O₃ verifica-se que o limiar de informação para à população (180 µg.m⁻³), foi ultrapassado em 4 situações, não tendo sido excedido o limiar de alerta (240 µg.m⁻³) (Figura 55).

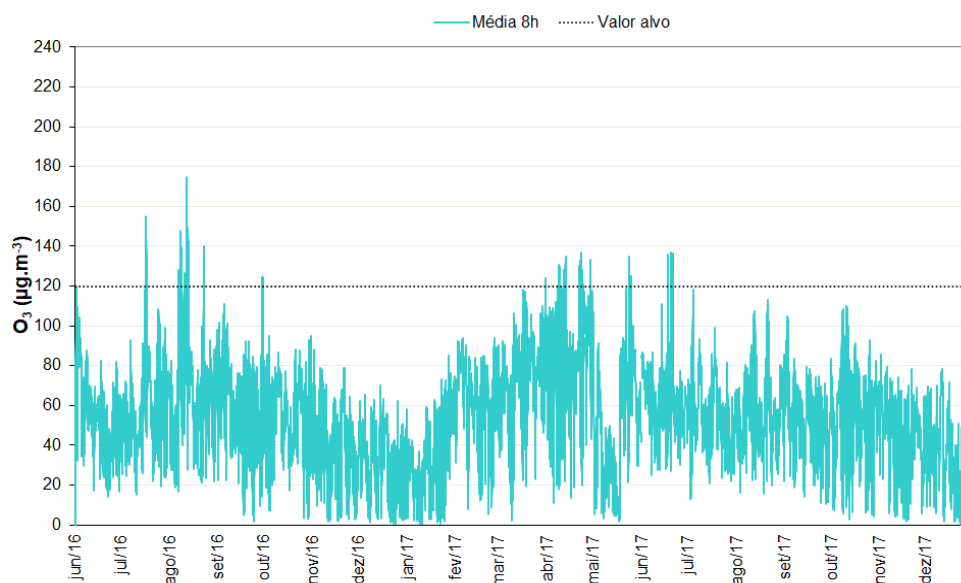


Figura 55 - Concentrações octo-horárias de O₃ monitorizadas no Porto de Aveiro.

Durante o período de estudo registaram-se 26 ultrapassagens, do valor alvo para proteção da saúde humana ($120 \mu\text{g.m}^{-3}$), 12 entre junho e dezembro de 2016 e 14 durante o ano de 2017. Considerando apenas o ano de 2017, uma vez que se refere a um intervalo de 1 ano, confirma-se o cumprimento do critério anual.

Os níveis de ozono estão associados às condições meteorológicas e à ocorrência de poluentes precursores, NO_x e COV (Monteiro *et al.*, 2016).

Na Figura 56 e 57, apresenta-se o perfil médio diário de O_3 , para cada mês, para 2016 e 2017, respetivamente.

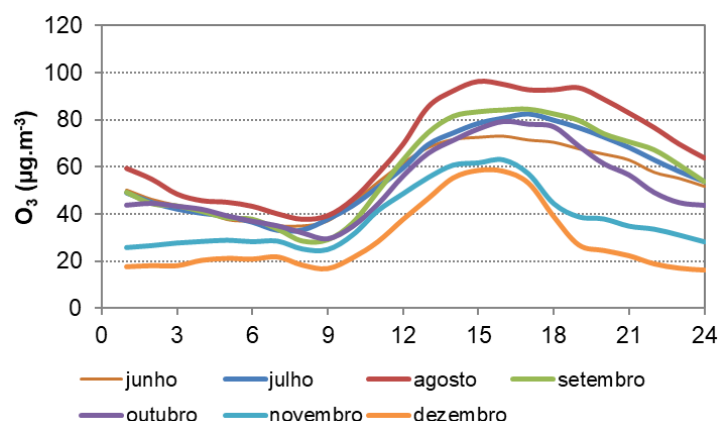


Figura 56 - Perfil médio diário das concentrações horárias de O_3 para cada mês, em estudo, do ano de 2016.

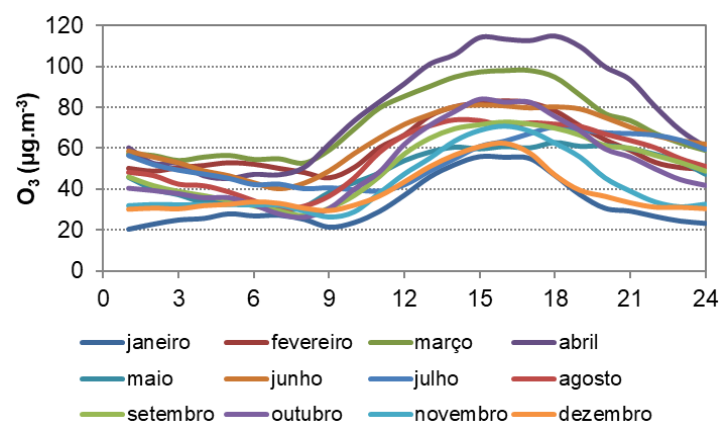


Figura 57 - Perfil médio diário das concentrações horárias de O_3 para cada mês do ano de 2017.

O comportamento fotoquímico que caracteriza este poluente secundário é evidenciado no perfil diário representado nas Figuras 56 e 57 com a ocorrência dos valores mínimos de concentração no final do período noturno, e aumento gradual ao longo da manhã, com as concentrações mais elevadas durante o período da tarde, quando se registam as condições que potenciam a atividade fotoquímica. Por este motivo nos meses de verão o perfil de concentração diário de O_3 é mais elevado, relativamente aos meses de inverno.

• **Benzeno: C_6H_6**

Na Figura 58 representa-se graficamente as concentrações de C_6H_6 monitorizadas na estação do Porto de Aveiro.

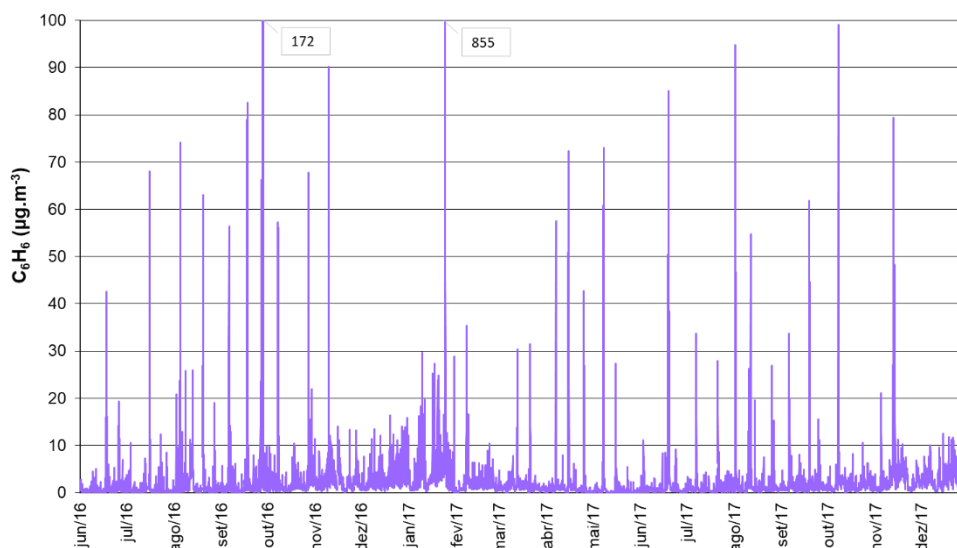


Figura 58 - Concentrações médias horárias de C_6H_6 monitorizadas no Porto de Aveiro.

Pela observação da série de dados de concentrações (Figura 59) verifica-se que são registados períodos com concentrações mais elevadas, podendo estas situações, em alguns casos, estar relacionadas com a atividade portuária, tráfego rodoviário, indústria petroquímica ou processos de combustão.

No entanto, o valor médio anual obtido para o benzeno (ano de 2017) é de $2,3 \mu g.m^{-3}$, sendo inferior ao valor limite anual para proteção da saúde humana ($5 \mu g.m^{-3}$) definido no DL n.º 102/2018.

As concentrações de benzeno no ar podem estar associadas a fontes diversas como fumo de tabaco, combustão e evaporação de gasolina, indústria petroquímica ou processos de combustão. É de salientar que o transporte rodoviário e os locais de movimentação de combustíveis são as principais fontes em áreas urbanas, no entanto, devido ao tempo que o ser humano passa em ambientes exteriores ser relativamente baixo, a exposição ao benzeno pode representar apenas 1% (Tchepele *et al.*, 2014).

5.3.2. Análise da contribuição portuária na qualidade do ar medida

Com o intuito de identificar eventuais relações com a atividade portuária, no Anexo V, encontram-se as rosas de poluição para os poluentes em estudo. As rosas de poluição foram construídas com base na frequência horária com que ocorrem as várias direções do vento, associado às concentrações horárias. Na Tabela 15 apresenta-se as correlações de Pearson, a fim de se verificar se existe correlação entre os diferentes poluentes e as variáveis meteorológicas.

Tabela 15 – Correlação entre os diferentes poluentes e as variáveis meteorológicas, para o período em estudo (junho de 2016 a dezembro de 2017).

| | NO | NO ₂ | NO _x | CO | SO ₂ | O ₃ | C ₆ H ₆ | PM10 | PM2,5 | Temp | HR | VV | Prec. | Rad |
|-------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-------------|--------|-------------|--------------|------|-------|------|
| NO | 1,00 | | | | | | | | | | | | | |
| NO ₂ | 0,41 | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| NO _x | 0,93 | 0,72 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| CO | 0,68 | 0,60 | 0,76 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| SO ₂ | 0,05 | 0,13 | 0,09 | 0,06 | 1,00 | | | | | | | | | |
| O ₃ | -0,39 | -0,51 | -0,50 | -0,41 | 0,02* | 1,00 | | | | | | | | |
| C ₆ H ₆ | 0,10 | 0,16 | 0,15 | 0,17 | 0,00* | -0,09 | 1,00 | | | | | | | |
| PM10 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,60 | 0,05 | -0,14 | 0,11 | 1,00 | | | | | | |
| PM2,5 | 0,53 | 0,49 | 0,60 | 0,76 | 0,06 | -0,22 | 0,15 | 0,73 | 1,00 | | | | | |
| Temp | -0,36 | -0,33 | -0,41 | -0,49 | 0,07 | 0,53 | -0,09 | -0,11 | -0,23 | 1,00 | | | | |
| HR | 0,05 | -0,01* | 0,04 | 0,04 | -0,20 | -0,47 | 0,02 | 0,04 | 0,02* | -0,37 | 1,00 | | | |
| VV | -0,24 | -0,46 | -0,37 | -0,33 | -0,01* | 0,48 | -0,09 | -0,16 | -0,23 | 0,26 | -0,31 | 1,00 | | |
| Prec | -0,02* | -0,03 | -0,03 | -0,02 | -0,01* | -0,01* | -0,01* | 0,00* | -0,02* | -0,01* | 0,05 | 0,05 | 1,00 | |
| Rad | -0,10 | -0,23 | -0,17 | -0,19 | 0,14 | 0,41 | -0,07 | -0,09 | -0,11 | 0,53 | -0,52 | 0,39 | -0,03 | 1,00 |

Nota: *A significância é inferior a 0,01 (2 extremidades) utilizando o teste t-student.

Na representação dos dados através das rosas de poluição, as PM10 apresentam uma relativa uniformidade na sua distribuição face à direção do vento, não sendo evidente a existência de influência preponderante associada a ventos provenientes da zona onde se desenvolve a atividade portuária. Apresentando uma correlação de 0,40 com o NO e de 0,60 com o CO.

No caso das PM_{2.5} observa-se um aumento das concentrações associado a ventos de NE e de SE, podendo esta situação estar relacionada com o impacto do período de incêndios no verão de 2016, e o aumento da combustão residencial no período de inverno, respetivamente. Salienta-se o facto de apresentar uma correlação de 0,53 com o NO e de 0,76 com o CO.

Para as concentrações de NO₂, apesar dos valores médios serem relativamente baixos, as rosas de poluição confirmam a ocorrência de uma tendência dos níveis mais elevados estarem associados a direções do vento de nordeste a sudeste e a velocidade do vento baixas, como demonstrado Tabela 15. Esta situação poderá estar associada à potencial influência das emissões do tráfego rodoviário.

Para o benzeno observa-se uma predominância dos valores mais elevados com vento de norte, apontando deste modo para a potencial influência de atividades na área portuária. Para este poluente a análise da matriz de correlações não evidencia uma correspondência significativa com outros parâmetros. Neste caso o coeficiente de correlação entre o benzeno e os restantes poluentes avaliados é igual ou inferior a 0,17, o que indica terem uma origem distinta.

As rosas de poluição do SO₂ apontam para concentrações médias significativamente inferiores aos valores da legislação. Por outro lado, observa-se no ponto de medição uma relativa uniformidade na sua distribuição face à direção do vento, não sendo possível a associação com uma fonte de emissão específica para este parâmetro maioritariamente relacionado com fontes industriais. Tal como para o benzeno, não evidencia correções significativas com outros parâmetros.

Relativamente aos níveis de CO os níveis médios mais elevados são registados com vento de sudeste, estando esta situação relacionada com emissões na área urbana, associadas ao tráfego e combustão residencial. A concentração de CO apresenta uma correlação de 0,68 com o NO, e 0,76 com as PM_{2.5}, confirmando a existência de relação significativa entre estes parâmetros. Também se verifica que a concentração de monóxido de carbono é inversamente proporcional à temperatura, evidenciando o facto da combustão residencial ser a principal fonte de emissão.

Para o ozono e tal como já referido os níveis registados resultam da formação fotoquímica deste poluente secundário a partir da decomposição dos precursores. O transporte de ozono de locais com maior atividade fotoquímica tem igualmente influência nos níveis alcançados deste poluente. Neste caso, as rosas de poluição apontam para níveis mais elevados com ventos de oeste e noroeste. Pela análise da Tabela 15, confirma-se que a formação de O₃ está relacionada o aumento da temperatura e da radiação solar e diminuição da humidade relativa. A identificação da origem deste poluente exigiria uma investigação mais profunda, idealmente com recurso a modelação (Monteiro *et al.*, 2016).

6. Conclusão

O conhecimento da qualidade do ar em ambientes portuários é crucial, uma vez que é um sector de atividade que se encontra em crescimento devido ao aumento do transporte de mercadoria por via marítima. Uma das ferramentas úteis na gestão da qualidade do ar consiste na monitorização em contínuo das concentrações de poluentes no ar ambiente.

Os principais objetivos do presente estágio, realizado no IDAD, consistiram na avaliação do impacto da atividade portuária, em particular do manuseamento de mercadoria na qualidade do ar em dois casos de estudo: Porto de Leixões e Porto de Aveiro. Para esta análise recorreu-se aos dados de qualidade do ar monitorizados. No caso de estudo do Porto de Leixões foi ainda analisado o impacto no ambiente sonoro.

O Porto de Leixões possui duas estações de monitorização da qualidade do ar na área portuária (uma fixa e uma móvel), que realizam a monitorização em contínuo das PM10 e PTS, para além das variáveis meteorológicas (precipitação, velocidade e direção do vento). Apesar do Porto de Leixões possuir duas estações de monitorização de qualidade do ar, no período em estudo 2016 e 2017, apenas foi possível analisar-se os dados referentes à estação móvel, visto a estação fixa não estar operacional. Relativamente à avaliação dos impactos da atividade portuária no ambiente sonoro este possui três instalações equipadas com microfones de medição na interface porto-cidade.

O Porto de Aveiro possui apenas uma estação móvel da qualidade do ar que efetua a monitorização em contínuo de poluentes atmosféricos (PM10, PM2.5, C₆H₆, CO, NO, NO₂, SO₂, O₃) e das variáveis meteorológicas (temperatura, humidade, precipitação, radiação solar, pressão barométrica e velocidade e direção do vento). Esta estação (móvel) localiza-se junto aos recetores sensíveis, numa zona suburbana, de modo a monitorizar o potencial impacto da atividade portuária na área urbana envolvente.

No Porto de Leixões a monitorização da qualidade do ar e do ambiente acústico é realizada pela própria administração portuária, enquanto que o Porto de Aveiro contratou uma entidade externa, que possui acreditação de ensaios, para a medição das concentrações de poluentes atmosféricos no ar ambiente. Ambos os Portos contrataram o IDAD para o acompanhamento, controlo de qualidade e tratamento dos dados, e é neste âmbito que o trabalho do presente estágio se enquadra.

Uma vez que a monitorização da qualidade do ar no Porto de Aveiro é realizada por uma entidade externa e com os ensaios acreditados pelo Instituto Português da Acreditação, verificou-se que a eficiência de recolha de dados foi superior ao Porto de Leixões, devido ao acompanhamento do funcionamento dos equipamentos de monitorização ser mais regular e a verificação de uma anomalia no funcionamento ser mais eficiente.

Por outro lado, uma vez que no Porto de Aveiro a monitorização da concentração engloba diversos poluentes é possível correlacioná-los entre si e com as variáveis meteorológicas, possibilitando, desta forma a identificação mais coerente das possíveis fontes de emissão. No Porto de Leixões a análise única de PM10 torna mais difícil a identificação de possíveis fontes de poluição e de medidas de mitigação.

Na última década, os moradores residentes na envolvente de ambos os portos, têm demonstraram a preocupação acerca da emissão de partículas fugitivas. No Porto de Aveiro a emissão estava relacionada com a movimentação de *petecoque* e no Porto de Leixões, durante o manuseamento de estilha. Neste âmbito, ambos os portos tem implementado medidas de mitigação, como por exemplo a construção de barreiras/quebra-ventos e cortinas arbóreas para evitar a dispersão de poeiras.

Pela análise efetuada, no Porto de Leixões, verificou-se que em 2016 e 2017 não houve incumprimento do valor limite anual de PM10 segundo o DL n.º 108/2010, de 23 de setembro, no entanto em 2017 observou-se um incumprimento do número máximo de excedências fixadas, e um aumento relativamente a 2016. Este aumento poderá estar relacionado com o crescimento da mercadoria manuseada no porto. A análise efetuada no período de presença e ausência de movimentação de mercadoria permitiu verificar uma ligeira subida da concentração média de PM10 durante os períodos de movimentação de mercadoria, cerca de $7 \mu\text{g.m}^{-3}$. Com o intuito de verificar se a concentração de PM10, no período de movimentação de mercadorias era estatisticamente superior ao período sem movimentação, utilizou-se o teste U de *Mann-Whitney*, concluindo-se que não existe diferença estatística entre a série de valores registados com movimento de mercadoria e sem movimento de mercadorias no período em análise. Relativamente à análise de ruído, neste caso de estudo, verificou-se que durante o período em estudo (segundo semestre de 2017) o Terminal de Contentores Norte apresenta maior número de ultrapassagens ao limiar de alerta. No entanto cerca de 70% das ultrapassagens verificam-se na ausência de movimento de contentores, evidenciando a existência de uma fonte sonora externa ao porto.

No Porto de Aveiro, o período em estudo restringiu-se de junho de 2016 a dezembro de 2017, tendo-se verificado através da rosa de poluição que apenas o benzeno teve uma predominância dos valores mais elevados com vento de norte, apontando deste modo para a potencial influência de atividades na área portuária. Também existem outras fontes externas ao porto que têm impacto elevado nas concentrações monitorizadas, como o tráfego rodoviário, uma vez que o Porto de Aveiro se localiza próximo da praia da Barra, e esta apresenta elevada afluência na época de verão. Para além disso, no período de inverno, há a salientar a potencial contribuição da combustão residencial, sobretudo em dias com fracas condições de dispersão.

Em suma, o Porto de Leixões e o Porto de Aveiro incorporam questões ambientais e sociais no seu plano de gestão e deste modo promovem o desenvolvimento sustentável a nível económico e ambiental.

Com possíveis medidas de melhoria o Porto de Leixões em vez de realizar a monitorização de PTS, substituir pela monitorização de PM_{2.5}. Esta medida seria economicamente viável, uma vez que é apenas necessário a troca da cabeça de pré-separação. Outra possível medida é a implementação de microsensores em diversos pontos do Porto, a fim de aumentar a monitorização de poluentes atmosféricos.

Em futuros estudos é importante a utilização de modelação numérica para uma identificação mais precisa da origem dos poluentes atmosféricos.

Os objetivos do estágio foram cumpridos, tendo este permitido desenvolver e adquirir competência na área da Engenharia do Ambiente, devido ao envolvimento em diversos projetos do IDAD, nomeadamente na área da monitorização ambiental de efluentes gasosos.

Referências bibliográficas

- Administração do Porto de Aveiro. (2007). *Política Ambiental. Manual de Gestão Ambiental*. Ílhavo, Portugal. Disponível em: http://www.portodeaveiro.pt/publishing/img/home_294/fotos/75344347711021105203.pdf
- Administração do Porto de Aveiro. (2013). Porto de Aveiro. Disponível em: <http://ww2.portodeaveiro.pt/>
- Administração do Porto de Aveiro. (2017). A Emissão Difusa de Partículas na Movimentação Portuária de Granéis Sólidos. In *9ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Lisboa.
- Alastuey, A., Moreno, N., Querol, X., Viana, M., Artíñano, B., Luaces, J. A., ... Guerra, A. (2007). Contribution of harbour activities to levels of particulate matter in a harbour area: Hada Project-Tarragona Spain. *Atmospheric Environment*, 41, 6366–6378. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.03.015>
- APA. (2015). *Estratégica Nacional Para o Ar, Relatório Síntese*. Amadora.
- APA. (2017). *Previsão de transporte de partículas naturais com origem em regiões áridas*. Disponível em: http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ar/Eventos/PREVISAO_EN_2017_01_04.pdf
- APA. (2018a). Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=152> [Acedido a 6/1/2018]
- APA. (2018b). Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=153> [Acedido a 6/1/2018]
- APDL. (2017). Porto de Leixões. Disponível em: <http://www.apdl.pt> [Acedido em 6/12/2017]
- APDL. (2018). Porto de Leixões - APDL. Disponível em: <https://www.apdl.pt/relatorio-de-sustentabilidade> [Acedido a 28/1/2018]
- APP. (2018). Associação de Portos de Portugal. Disponível em: <http://www.portosdeportugal.pt/app/portos/douro-e-leixoes.php> [Acedido a 28/1/2018]
- Aulinger, A., Matthias, V., Zeretzke, M., Bieser, J., Quante, M., & Backes, A. (2016). The impact of shipping emissions on air pollution in the greater North Sea region - Part 1: Current emissions and concentrations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(2), 739–758. <https://doi.org/10.5194/acp-16-739-2016>
- Borrego, C., Costa, A. M., Amorim, J. H., Santos, P., Sardo, J., Lopes, M., & Miranda, A. I. (2007). Air quality impact due to scrap-metal handling on a sea port: A wind tunnel experiment. *Atmospheric Environment*, 41(30), 6396–6405. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.01.022>
- Borrego, C., Valente, J., Carvalho, A., Sá, E., Lopes, M., & Miranda, A. I. (2010). Contribution of residential wood combustion to PM10 levels in Portugal. *Atmospheric Environment*, 44(5), 642–651. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.020>
- Câmara Municipal de Matosinhos. (2013). Matosinhos Valoriza!, “Plano de Melhoria da Qualidade do Ar”. Disponível em: <http://web2.cm-matosinhos.pt> [Acedido a 14/4/2018]
- CESAM. (2018). Centro de Estudos do Ambiente e do Mar. Disponível em: www.airship.web.ua.pt
- Corbett, J. J. ., & Fischbeck, P. (1997). Emissions from ships. *Science*, 278(5339), 823–824. <https://doi.org/10.1126/science.278.5339.823>
- DAO. (2018). AIRSHIP. Disponível em: <http://airship.web.ua.pt/>
- Davarzani, H., Fahimnia, B., Bell, M., & Sarkis, J. (2016). Greening ports and maritime logistics: A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 473–487. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.07.007>

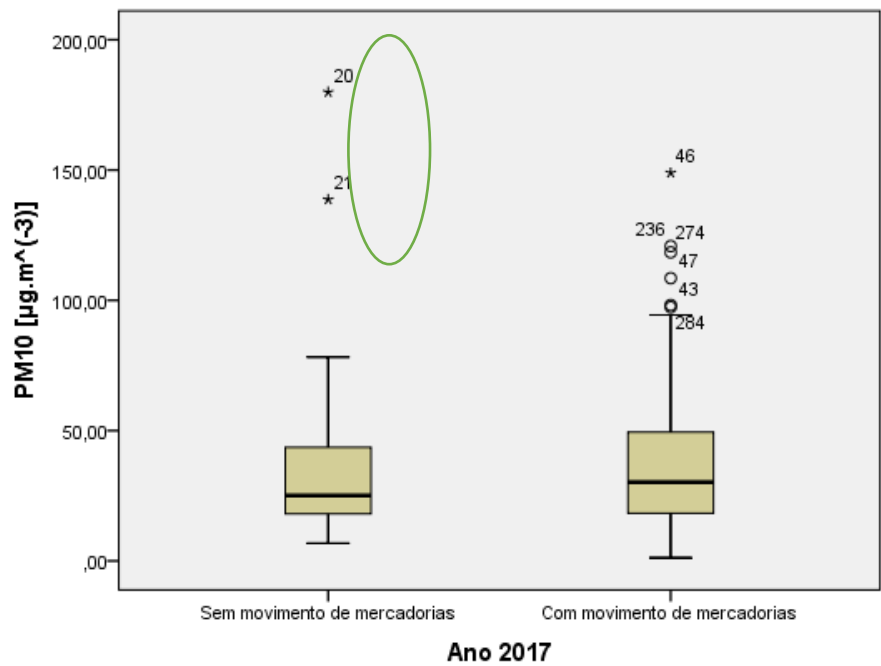
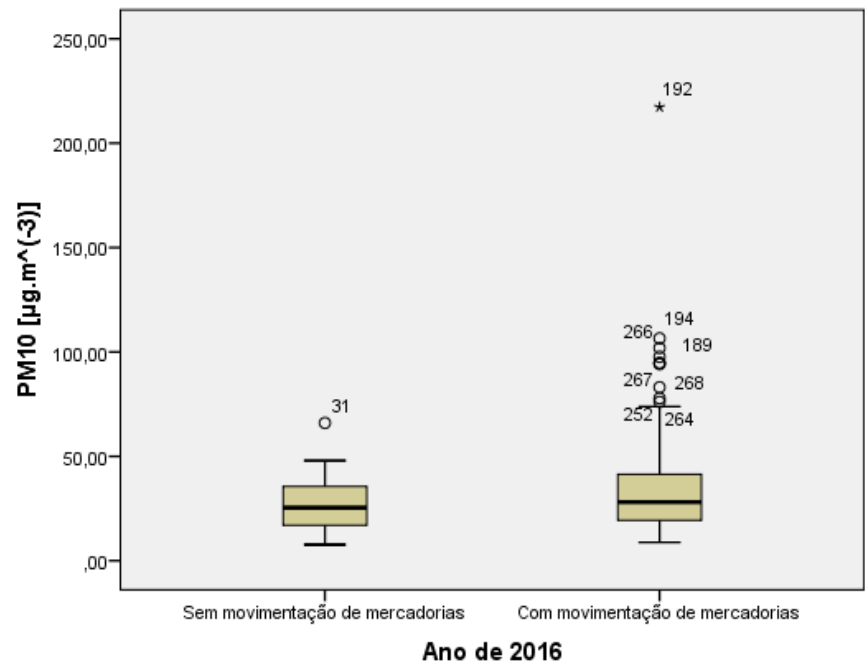
- Decreto-Lei n.º 9/2007, de 23 de setembro. Diário da República n.º12, Série I. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território.
- Decreto-Lei n.º 102/2010, de 17 de janeiro. Diário da República n.º186, Série I. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território.
- DGRM. (2018). Direção Geral dos Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos. Disponível em: <https://www.dgrm.mm.gov.pt/>
- Dinwoodie, J., Tuck, S., Knowles, H., Benhin, J., & Sansom, M. (2012). Sustainable Development of Maritime Operations in Ports. *Business Strategy and the Environment*, 21, 111–126. <https://doi.org/10.1002/bse.718>
- Duque, L., Relvas, H., Silveira, C., Ferreira, J., Monteiro, A., Gama, C., ... Miranda, A. I. (2016). Evaluating strategies to reduce urban air pollution. *Atmospheric Environment*, 127(2), 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.043>
- EEA. (2013a). *Every breath we take: Improving air quality in Europe. Signals 2013*. Copenhagen, Denmark: European Environmental Agency. <https://doi.org/10.2800/95932>
- EEA. (2013b). *The impact of international shipping on European air quality and climate forcing*. Copenhagen, Denmark: European Environmental Agency. <https://doi.org/10.2800/75763>
- EEA. (2017). *Air quality in Europe — 2017 report. EEA Technical Report*. Copenhagen, Denmark: European Environmental Agency. <https://doi.org/10.2800/22775>
- EPA. (2017). United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www.epa.gov/petroleum-coke-chicago/health-effects-petroleum-coke>
- ESPO. (2012). *Green Guide - Towards Excellence in Port Environmental Management and Sustainability*. (European Sea Ports Organisation, Ed.). Treurenberg, Bruxelas. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(12\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(12)00047-9)
- ESPO. (2013). Annex 1: Good practice examples in line with the 5 Es. In *ESPO Green Guide: Towards excellence in port environmental management and sustainability* (Bruxelas). Treurenberg: European Sea Ports Organisation. Disponível em: https://www.ecoports.com/laravel-filemanager/files/common/publications/Annex_1_Good_Practices_Version_2_July_2013.pdf
- ESPO. (2017). *Sustainability Report 2017*. European Sea Ports Organisation. Disponível em: <https://www.espo.be/publications/sustainability-report-2017>
- Eyring, V., Isaksen, I. S. A., Berntsen, T., Collins, W. J., Corbett, J. J., Endresen, O., ... Stevenson, D. S. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping. *Atmospheric Environment*, 44(37), 4735–4771. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.059>
- Guerreiro, C. B. B. ., Foltescu, V., & de Leeuw, F. (2014). Air quality status and trends in Europe. *Atmospheric Environment*, 98, 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.017>
- IDAD. (2013). Instituto de Ambiente e Ordenamento. Disponível em: <http://www.ua.pt/idad> [Acedido a 19/11/2017]
- IDAD. (2014). *Acompanhamento do Plano de Monitorização de Ruído no Porto de Leixões: Avaliação da Incomodidade*. Aveiro, Portugal: Instituto de Ambiente e Desenvolvimento.
- IDAD. (2015). *Avaliação da Qualidade do Ar na Envolvente do Porto de Aveiro*. Aveiro, Portugal: Instituto de Ambiente e Desenvolvimento.
- IMO. (2015). *Study of Emission Control and Energy Efficiency Measures for Ships in the Port Area. Safe, secure and efficiency shipping on clean oceans*. London, UK. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- IMO. (2018). Organização Marítima Internacional. Disponível em: www.imo.org [Acedido a 5/3/2018]
- INE. (2011). Instituto Nacional de Estatística. Disponível em: <https://www.ine.pt> [Acedido a 14/12/2017]
- IPMA. (2015). Portal do Clima. Disponível em: www.portaldoclima.pt [Acedido a 14/12/2017]

- IPMA. (2017). Boletim Climatológico Anual: Portugal Continental 2016. Lisboa. Disponível em: <http://www.ipma.pt/>
- IPMA. (2018). Boletim Climatológico Anual: Portugal Continental 2017. Lisboa. Disponível em: www.ipma.pt
- Jalkanen, J. P., Johansson, L., & Kukkonen, J. (2016). A comprehensive inventory of ship traffic exhaust emissions in the European sea areas in 2011. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(1), 71–84. <https://doi.org/10.5194/acp-16-71-2016>
- Johansson, L., Jalkanen, J. P., & Kukkonen, J. (2017). Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution. *Atmospheric Environment*, 167, 403–415. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.042>
- Marôco, J. (2010). *Análise Estatística com o PASW Statistics*. (Report Number, Ed.). Pêro Pinheiro, Portugal: Rolo & Filhos II.
- Matthias, V., Bewersdorff, I., Aulinger, A., & Quante, M. (2010). The contribution of ship emissions to air pollution in the North Sea regions. *Environmental Pollution*, 158(6), 2241–2250. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.02.013>
- Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2010). Reposta à Pergunta nº 5068/XI/1ª – Emissões Poluentes no Porto de Leixões. Disponível em: <http://app.parlamento.pt/>
- Miranda, A., Silveira, C., Ferreira, J., Monteiro, A., Lopes, D., Relvas, H., ... Roebeling, P. (2015). Current air quality plans in Europe designed to support air quality management policies. *Atmospheric Pollution Research*, 6(3), 434–443. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.048>
- Monteiro, A. ., Miranda, A. I. ., Borrego, C. ., Vautard, R. ., Ferreira, J. ., & Perez, A. T. . (2007). Long-term assessment of particulate matter using CHIMERE model. *Atmospheric Environment*, 41(36), 7726–7738. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.06.008>
- Monteiro, A., Ferreira, J., Ribeiro, I., Fernandes, A. P., Martins, H., Gama, C., & Miranda, A. I. (2015). Air quality over Portugal in 2020. *Atmospheric Pollution Research*, 6(5), 788–796. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.087>
- Monteiro A., Lopes J., Gouveia S., Scotto M., Feliciano M., Miranda A.I. (2016) Investigating ozone episodes in Portugal: a wavelet-based approach. *Air Quality, Atmosphere & Health* 9 (7), 775–783. DOI: 10.1007/s11869-015-0379-7
- Monteiro, A., Russo, M., Gama, C., Lopes, M., & Borrego, C. (2018). How economic crisis influence air quality over Portugal (Lisbon and Porto)? *Atmospheric Pollution Research*, 9(3), 439–445. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.11.009>
- Moreno, N., Viana, M., Pandolfi, M., Alastuey, A., Querol, X., Chinchón, S., ... Saéz, J. (2009). Determination of direct and fugitive PM emissions in a Mediterranean harbour by means of classic and novel tracer methods. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.009>
- Mueller, D., Uibel, S., Takemura, M., Klingelhoefer, D., & Groneberg, D. A. (2011). Ships, ports and particulate air pollution - An analysis of recent studies. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 6(31). <https://doi.org/10.1186/1745-6673-6-31>
- Mustonen, M. (2013). *Noise as an environmental challenge for ports*. Estocolmo, Suécia.
- NABU. (2015). *Clean Air in Ports*. Berlim, Germany: German Nature and Biodiversity Conservation Union.
- OECD. (2011). *Environmental Impacts of International Shipping: The Role of Ports*. (N. A. Braathen, Ed.). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264097339-en>
- Puig, M., Wooldridge, C., Michail, A., & Darbra, R. M. (2015). Current status and trends of the environmental performance in European ports. *Environmental Science & Policy*, 48, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.12.004>
- QualAr. (2018). Base de dados Online sobre Qualidade do Ar. Disponível em: <http://qualar.apambiente.pt>

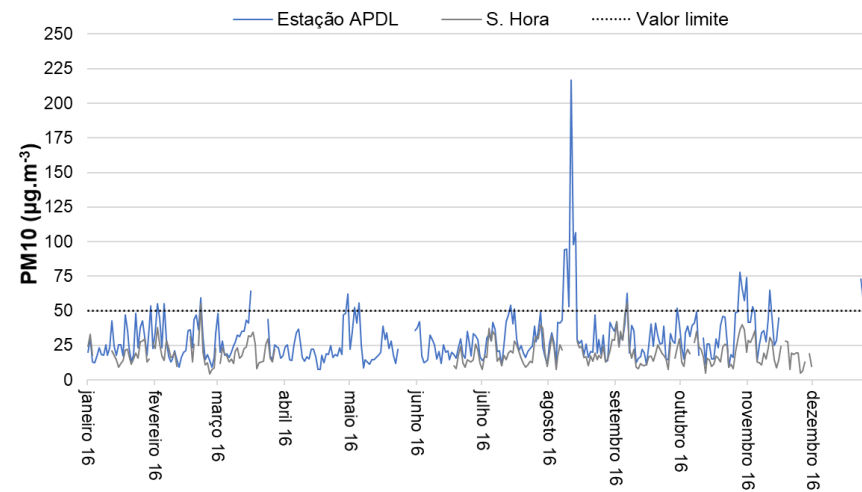
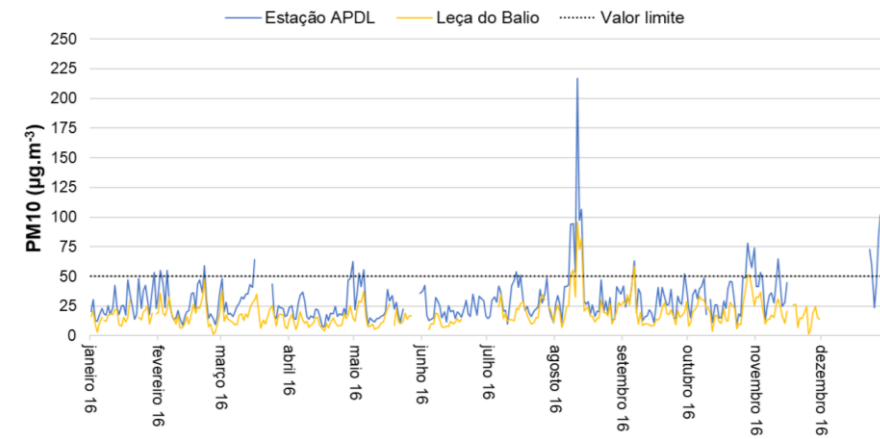
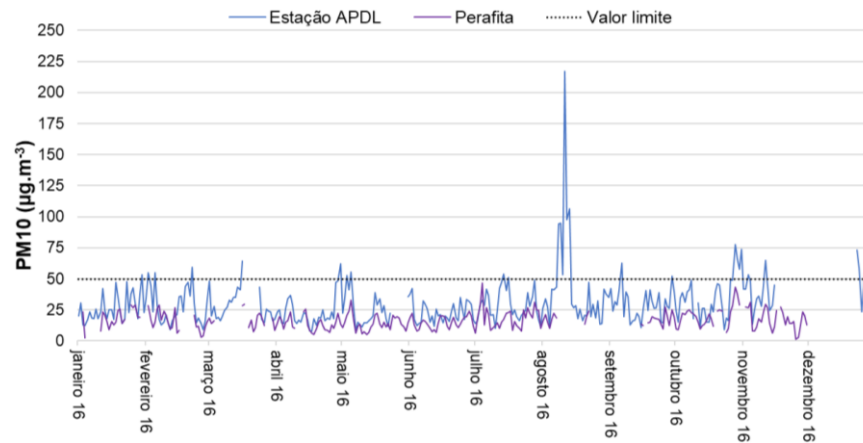
- Russo, M. A., Leitão, J., Gama, C., Ferreira, J., & Monteiro, A. (2018). Shipping emissions over Europe: A state-of-the-art and comparative analysis. *Atmospheric Environment*, 177, 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.01.025>
- Russo, M., Monteiro, A., Gama, C., & Borrego, C. (2018). A Importância das Emissões Marítimas para a Qualidade do Ar em Portugal. *Ambiente e Direitos Humanos*, III, 385–381.
- Sciberras, E. A., Zahawi, B., Atkinson, D. J., Juandó, A., & Sarasquete, A. (2016). Cold ironing and onshore generation for airborne emission reductions in ports. *Engineering for the Maritime Environment*, 230(1), 67–82. <https://doi.org/10.1177/1475090214532451>
- Silva, A. M. E. V. (2017). Emissões fugitivas de partículas para a atmosfera: caracterização, impactos e mitigação. *Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro*.
- Sofiev, M., Winebrake, J. J., Johansson, L., Carr, E. W., Prank, M., Soares, J., ... Corbett, J. J. (2018). Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. *Nature Communications*, 9(1), 406. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02774-9>
- Sorte, S., Lopes, M. ., Rodrigues, V., Leitão, T., Monteiro, A., Ginga, J., ... Borrego, C. (2018). Measures To Reduce Air Pollution Caused By Fugitive Dust Emissions From Harbour Activities. *International Journal of Environmental Impacts*, 1(2), 115–126. <https://doi.org/10.2495/EI-V1-N2-115-126>
- Tchepel, O., Dias, D., Costa, C., Santos, B. F., & Teixeira, J. P. (2014). Modeling of Human Exposure to Benzene in Urban Environments. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 77(14–16), 777–795. <https://doi.org/10.1080/15287394.2014.909299>
- UNCTAD. (2017). *Review of Maritime Transport*. (UNITED NATIONS PUBLICATION, Ed.). Geneva, Switzerland: UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT.
- Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., Vlieger, I. de, & van Aardenne, J. (2014). Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*, 90(Review), 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046>
- WHO. (2016). *Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. (Inis Communication, Ed.), *World Health Organization*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

Anexos

Anexo I: Concentrações médias diárias de PM10 monitorizadas na Estação Móvel da APDL.



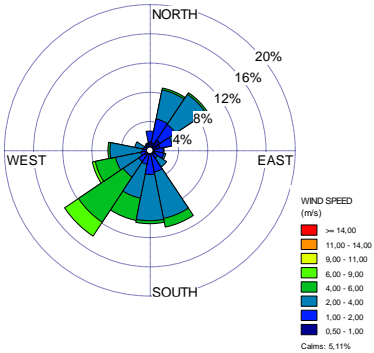
Anexo II: Concentrações médias diárias de 2016, nas Estações da CCDR Norte e na Estação da APDL.



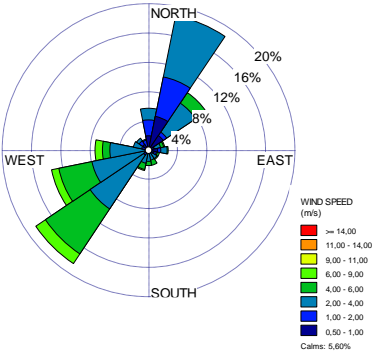
Anexos III: Rosa de ventos mensal para a Estação Móvel da APDL

Ano de 2016

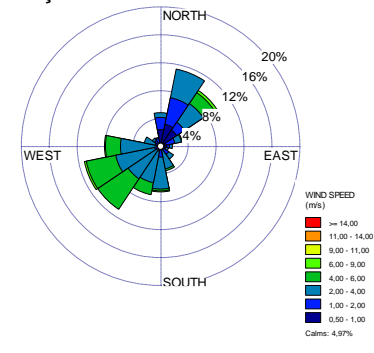
Janeiro



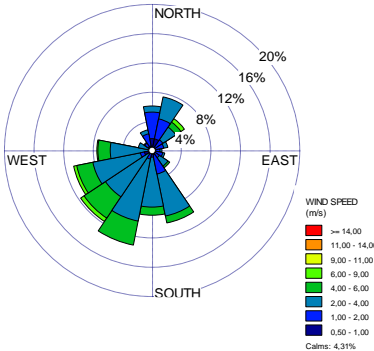
Fevereiro



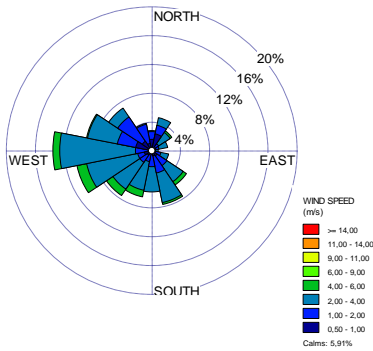
Março



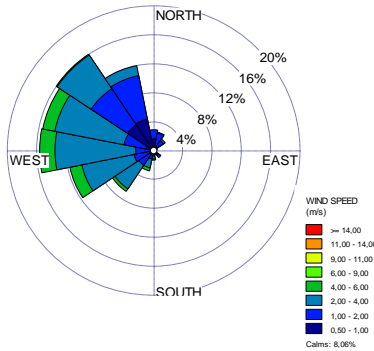
Abril



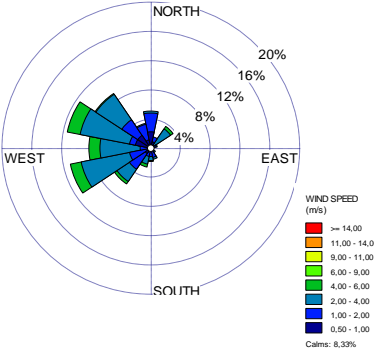
Maio



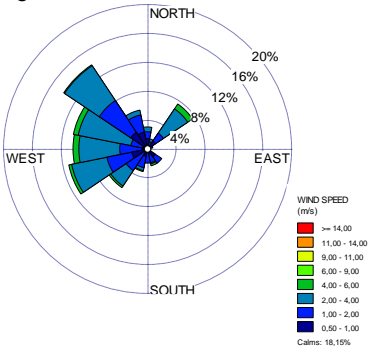
Junho



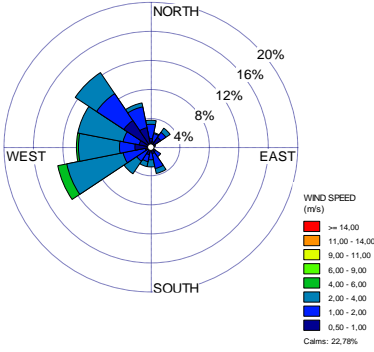
Julho



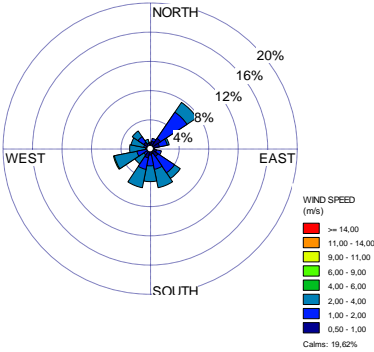
Agosto



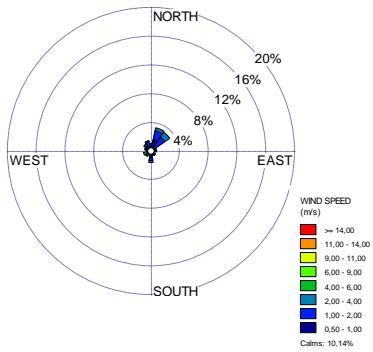
Setembro



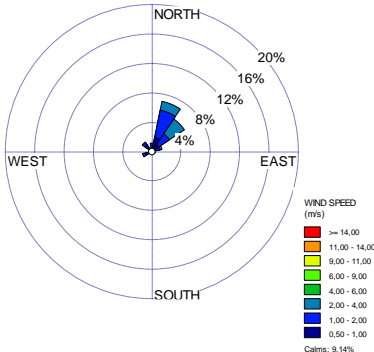
Outubro



Novembro

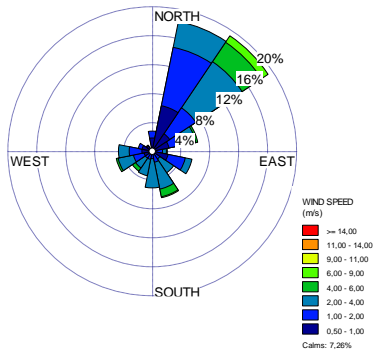


Dezembro

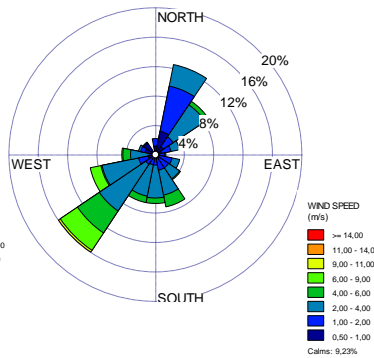


Ano de 2017

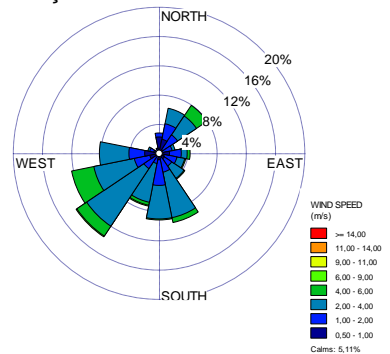
Janeiro



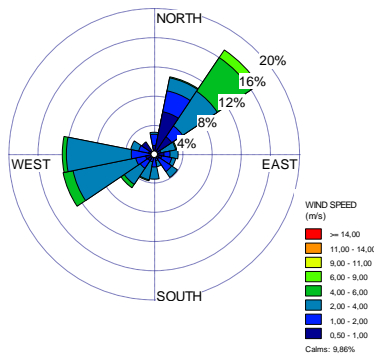
Fevereiro



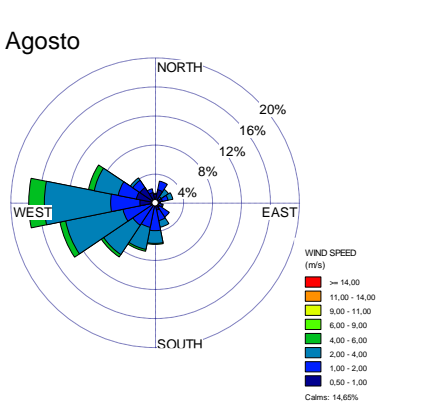
Março



Abril

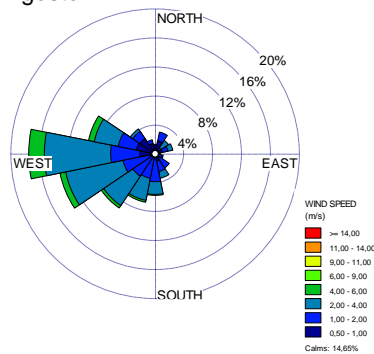


Maio

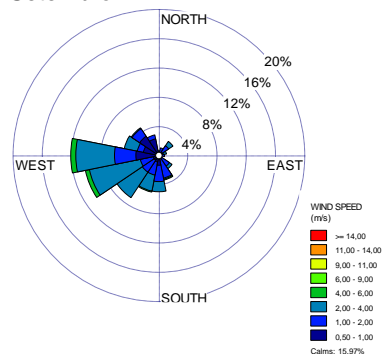


Julho

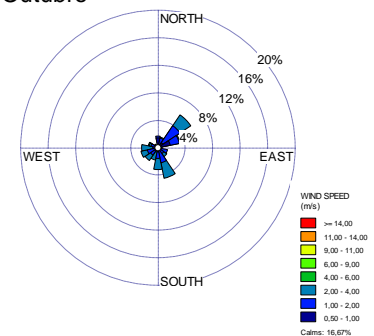
Agosto



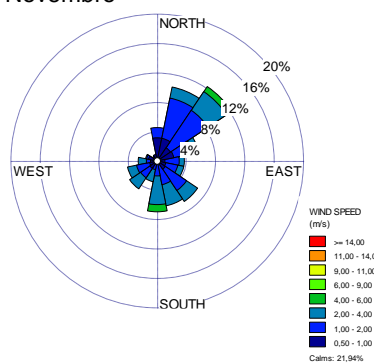
Setembro



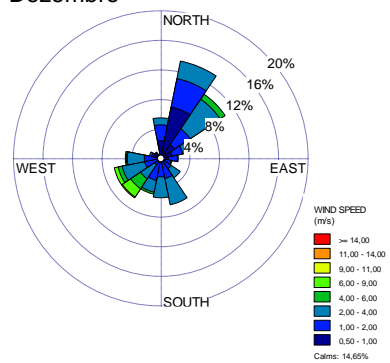
Outubro



Novembro



Dezembro



Anexo IV: Rosa de Poluição para as PM10, para o Porto de Leixões

Ano de 2016



Ano 2017



Anexo V: Rosa de Poluição para os diferentes poluentes, para o Porto de Aveiro

PM10



PM2.5



NO₂



SO₂



C_6H_6



CO



h

O₃

